

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЛАДІВ

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для студентів приладобудівного факультету напрямку підготовки
6.05.1003 «Приладобудування»

Частина I

КИЇВ 2016

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЛАДІВ

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для студентів приладобудівного факультету напрямку підготовки
6.05.1003 «Приладобудування»
Частина I

Ухвалено Методичною комісією ПБФ Протокол № _____ від _____ Голова Методичної комісії ПБФ Філіпова М.В.	Затверджено на засіданні кафедри приладів та систем неруйнівного контролю Протокол № 4 від 11.02.2016 р. Завідувач каф.ПСНК Протасов А.Г.
---	--

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Конструювання елементів приладів» для студентів приладобудівного факультету напрямку підготовки 6.05.1003 «Приладобудування». Частина I
Уклад. Ж.О. Павленко, Г.А. Богдан – К.: 2016. – 98 с.

Навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Конструювання елементів приладів» для студентів приладобудівного факультету напрямку підготовки 6.05.1003 «Приладобудування». Частина I

Укладачі: Павленко Жанна Онисимівна
Богдан Галіна Анатоліївна

Відповідальний редактор
Рецензент

А.Г. Протасов
Т.Р. Клочко

Зміст

1. Вступ.....	4
2. Загальні методичні вказівки.....	4
3. Лабораторні роботи № 1, №2, №3.....	6
4. Лабораторна робота № 4.....	36
5. Лабораторна робота № 5.....	51
6. Лабораторна робота № 6.....	63
7. Лабораторна робота № 7.....	82

ВСТУП

До складу будь-якого приладного комплексу неодмінно входять механічні та електромеханічні вузли. Вони є, як правило, допоміжним, але необхідним обладнанням. Нерухомі вузли – це звичайно стойки, шасі, корпуси обладнання; рухомі механічні вузли призначені для здійснення лінійних, кутових або інших переміщень з необхідними параметрами (швидкостями, кутами повороту тощо.) та передачі моментів та потужностей на різноманітні виконуючі механізми. Механічні вузли, до яких відносяться різні передатні механізми, стопорні та фіксуючі пристрої, регулятори швидкості та ін. в свою чергу складаються з елементів, що мають свої характеристики і параметри. Вивченню цих елементів, їх кінематичних, силових геометричних параметрів і присвячується кредитний модуль «Конструювання елементів приладів».

МЕТА ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

практичне ознайомлення з реальними деталями і механізмами; проведення експериментальних досліджень характеристик елементів та механізмів; ознайомлення зі стандартами та стандартизованими, нормалізованими вузлами та елементами з метою подальшого їх використання, в разі необхідності, в системах НК;

I. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

I.1 Тематика лабораторних робіт

Тематика присвячена вивченню різних видів механічних вузлів, пристроїв та елементів, які входять як допоміжні до складу пристроїв неруйнівного контролю. Це механічні пристрої, до яких відносяться електроприводи, напрямні, різні стопорні, фіксуючі, підпружинюючі вузли та ін. Під час виконання лабораторних робіт студенти знайомляться зі складом таких вузлів, їх функціонуванням, вивчають робочі характеристики як вузла так і окремих його елементів. Вчать робити кінематичні та інші види

розрахунків, складати кінематичні схеми вузлів. В зв'язку з застосуванням стандартизованих елементів в механічних вузлах, студенти вчаться користуватись довідниковою літературою та держстандартами.

Крім того самі елементи (деталі) вузлів є виробами, тобто потенційними об'єктами контролю, тому їхня якість, про яку можна судити по характеристиках, теж є об'єктом вивчення.

I.2 Зміст і обсяг лабораторних робіт

Зміст лабораторних робіт охоплює тематику кредитного модуля. Методичні вказівки поділені на дві частини: перша частина присвячена лабораторним роботам по дослідженню характеристик елементів та механізмів загального приладобудування; в другій частині викладені лабораторні роботи близьки до фахової тематики кафедри. Загальний обсяг лабораторних робіт розраховано на 9 занять.

Лабораторні роботи №1, №2, №3 зв'язані між собою логічним змістом, метою і послідовністю, тому не відокремлюються одна від одної і описуються як єдиний методичний матеріал, хоч і виконуються на різних заняттях. Кожна з інших робіт виконується протягом одного заняття.

До кожної роботи студент при попередній підготовці готує Звіт (формат А4). Зміст Звіту: мета роботи, короткі теоретичні відомості та необхідні формули, таблиці для занесення даних, розрахунки та висновки за результатами роботи. Для деяких робіт є своя специфіка складання Звіту (див. надані Методичні вказівки).

I.3 Структура Методичних вказівок

В Методичних вказівках до кожної лабораторної роботи згідно її тематики викладено теоретичні відомості, порядок виконання роботи, вимоги до форми та змісту Звіту роботи, надані контрольні запитання та список рекомендованої літератури.

Примітка: для зручності студентів та в зв'язку з обмеженістю лекційного часу теоретичні відомості в деяких роботах викладено в

достатньо великому об'ємі, що може бути використано при підготовці не тільки до лабораторної роботи, але й для самостійного опрацювання лекційного матеріалу кредитного модуля.

В зв'язку з великою кількістю довідникового і графічного матеріала до кожної лабораторної роботи прикладається відповідний **Додаток**.

I.4 Організація проведення лабораторних робіт

На першому занятті студенти розподіляються на бригади (по 2 особи). До кожної роботи студент допускається після попередньої співбесіди і при наявності підготовленої форми Звіту роботи. Дані, отримані при виконанні роботи, перевіряються і підписуються викладачем. Після обробки даних, розрахунків, виконання схем тощо студент захищає виконану роботу, отримуючи певну кількість рейтингових балів (див. Додаток 9 «Шкала рейтингових балів та критерії оцінювання»)

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ № 1, №2, №3

ВИМІРЮВАЛЬНІ ІНСТРУМЕНТИ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Вступ

Існуючі засоби НК згідно ГОСТ 4.27-71 і ГОСТ 4.28-71 призначені для:

- Виявлення порушення цілісності матеріалу виробу;
- Оцінки дефектів структури матеріалу виробу;
- Оцінки стану і дефектів фізико-хімічних властивостей матеріалу виробів;
- **Контролю геометричних розмірів виробів;**

Саме на особливості цієї останньої задачі і її вирішення звертається увага в комплексній лабораторній роботі №1-3.

Мета роботи:

Частина I (лаб. раб. №1)

1. Ознайомитись з основним видами засобів і методів вимірювання.
2. Ознайомитись з основними метрологічними показниками і структурними елементами універсальних вимірювальних засобів.

3. Ознайомитись з різними наданими вимірювальними інструментами, їх характеристиками та можливостями застосування в практичних цілях.

Частина II (лаб.раб. №2)

1. Ознайомитись з видами стандартних зразків типу СЗ і СЗП, що застосовуються для перевірки параметрів апаратури неруйнівного контролю (НК).

2. Набути навичок користування різними вимірювальними інструментами при вимірюваннях на прикладах обміру геометричних розмірів стандартних зразків типу СЗ і СЗП та інших елементів.

Частина III (лаб. раб. №3)

1. Набути навичок користування різними вимірювальними інструментами при вимірюваннях на прикладах обміру геометричних розмірів різних елементів та деталей, застосовуваних в електричних та механічних вузлах систем НК.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Частина 1

Основні види засобів і методів вимірювання

Засіб вимірювання - це технічний пристрій, що використовується при вимірюваннях і має нормовані метрологічні властивості. До засобів вимірювання відносяться різні вимірювальні прилади і інструменти: штангенінструменти, мікрометри і ін. .

Принцип дії засобу вимірювання - фізичний принцип, покладений в основу побудови даного засобу вимірювання. Часто принцип дії відображений безпосередньо в назві засобу вимірювання, наприклад, оптиметр.

Засіб вимірювання, призначений для відтворення фізичної величини заданого розміру, називається мірою. Розрізняють однозначні міри, що відтворюють фізичну величину одного розміру (наприклад, кінцеві міри довжини, гирі, конденсатори постійної ємності), і багатозначні міри, які

відтворюють ряд однойменних величин різного розміру (наприклад, рулетки, розділені на міліметри, конденсатори змінної ємності).

Еталон одиниці фізичної величини – міра вимірювання (комплекс мір вимірювань), офіційно затверджена для відтворення і зберігання одиниці фізичної величини з найвищою досяжною точністю (наприклад комплекс засобів вимірювань для відтворення метра через довжину світлової хвилі).

Зразкові міри вимірювання – це міри, вимірювальні прилади або перетворювачі, затверджені як зразки. Вони служать для контролю вимірювальних засобів, що стоять нижче згідно перевірочної схеми і в той же час самі періодично зазнають перевірки по еталонах. Їх точність має велике значення для забезпечення єдності і правильності вимірювань.

Методи вимірювань

Вимірювальний засіб і прийоми його використання в сукупності утворюють метод вимірювання. За способом набуття значень вимірюваних величин розрізняють два основні методи вимірювань: *метод безпосередньої оцінки і метод порівняння з мірою*.

Метод безпосередньої оцінки - метод вимірювання, при якому значення величини визначають безпосередньо по відліковому пристрою вимірювального приладу прямої дії, наприклад, вимірювання довжини за допомогою лінійки, розмірів деталей мікрометром, кутоміром та ін.

Метод порівняння з мірою - метод вимірювання, при якому вимірювану величину порівнюють з величиною, що відтворюється мірою. При вимірюванні лінійних величин незалежно від розглянутих методів розрізняють контактний і безконтактний методи вимірювань. Прикладом першого є вимірювання розмірів валу штангенциркулем, а другого - вимірювання розмірів того ж валу за допомогою проєкційних приладів, наприклад, мікроскопа.

Залежно від взаємозв'язку показань приладу з вимірюваною фізичною величиною *вимірювання розділяють на прямі і непрямі, абсолютні і відносні*.

При прямому вимірюванні шукане значення величини визначають безпосередньо з первинних даних, наприклад вимірювання кута кутоміром, діаметру - штангенциркулем.

При непрямому вимірюванні шукане значення визначають на підставі відомої залежності між цією величиною і величинами, що піддаються прямим вимірюванням, наприклад визначенням середнього діаметру різьблення за допомогою трьох ниток на вертикальному довжиномірі, кута за допомогою синусної лінійки і тощо. Абсолютне вимірювання засноване на прямих вимірюваннях величини і (або) використанні значень фізичних констант, наприклад, вимірювання розмірів деталей штангенциркулем або мікрометром. Відносне вимірювання засноване на порівнянні вимірюваної величини з відомим значенням міри, наприклад, вимірювання відношення величини до однойменної величини, що грає роль одиниці, або вимірювання величини по відношенню до однойменної величини, що приймається за вихідну. Розмір в цьому випадку визначається алгебраїчним підсумовуванням розміру установчої міри і показань приладу.

Класифікація сучасних вимірювальних засобів лінійних і кутових вимірювань

Вимірювальні засоби (прилади) класифікують за призначенням, конструктивно-функціональними ознаками і технологічними особливостями виготовлення. На заводах спеціалізовані цехи і ділянки виготовляють наступні групи вимірювальних засобів.

1. Оптичні прилади:

- прилади для вимірювання довжин і кутів:
довжиноміри, інтерферометри, профілометри, сферометри.

А також інструментальні і універсальні вимірювальні мікроскопи, лінійні вимірювальні машини, оптичні ділильні голівки, гоніометри, рефрактометри, труби автоколімацій, катетометри і т.д.;

- мікроскопи (біокулярні, інтерференційні; біологічні та ін.);
 - прилади для спостереження: галілеївські і призматичні біноклі, стереотруби, перископи;
 - геодезичні прилади - нівеліри, теодоліти, світлодальноміри;
 - призматичні і дифракційні спектральні прилади: мікрофотометри, спектрометри.
2. Важільно -оптичні прилади: оптиметри, ультраоптиметри;
 3. Важільно-механічні прилади:
 - власне важельні (мініметри та ін.);
 - зубчасто-важільні (індикатори годинникового типу та ін.);
 - зубчасто-важільні (мікрометри та ін.);
 - гвинтово-важільні (індикатор-мікрометр);
 - з пружинною передачею (мікроратори і ін.)
 4. Пневматичні прилади з манометром і ротаметром. .
 5. Механічні прилади:
 - штрихові, забезпечені ноніусом (штангенінструменти і універсальні кутоміри);
 - мікрометричні, засновані на застосуванні гвинтової передачі (мікрометри, мікрометричні нутроміри, глибиноміри та ін.).
 6. Електрифіковані прилади (індуктивні, ємнісні, фотоелектричні та ін.).
 7. Автоматичні прилади: контрольні і контрольно-сортувальні автомати, прилади активного контролю та ін..

Основні метрологічні показники і структурні елементи універсальних вимірювальних засобів

При виборі засобів вимірювання залежно від заданої точності виготовлення деталей необхідно враховувати їх метрологічні характеристики.

Прилади для лінійних і кутових вимірювань, що забезпечені шкальними відліковими пристроями, характеризуються наступними метрологічними

показниками: діленням шкали, довжиною ділення шкали, ціною поділки шкали, початковим і кінцевим значеннями шкали, діапазоном показань, діапазоном вимірювання, межею вимірювання. Для повної характеристики приладу необхідно знати величину вимірювального зусилля, чутливість, точність вимірювання і стабільність показань.

Шкала - частина відлікового пристрою, це сукупність відміток і проставлених у деяких з них чисел відліку або інших символів, відповідних ряду послідовних значень величин.

Існують прилади, де звичайна шкала замінена цифровим табло, на якому з'являється результат вимірювань.

Поділка шкали – проміжок між двома сусідніми відмітками шкали.

Довжина поділки шкали - відстань між осями двох сусідніх відміток шкали, зміряна уздовж уявної лінії, що проходить через середини найкоротших відміток шкали. У нерівномірних шкал довжина поділки шкали – величина змінна.

Ціна поділки шкали – різниця значень величин, відповідних двом сусіднім відміткам шкали.

Початкове і кінцеве значення шкали - відповідно найменше і найбільше значення вимірюваної величини, вказані на шкалі.

Діапазон показань (границя вимірювань на шкалі) - область значень шкали, обмежена кінцевим і початковим значеннями шкали.

Діапазон вимірювань - область значень вимірюваної величини, для якої нормовані допустимі похибки засобу вимірювань.

Границі вимірювань - найбільше або найменше значення діапазону вимірювань, яке виходить за рахунок складання діапазону показань і границь переміщення вимірювальної голівки по стійці або столу приладу.

Вимірювальне зусилля - зусилля дії вимірювального наконечника на поверхню вимірюваної деталі в зоні контакту. Воно суворо регламентується, оскільки в одному випадку із-за малого вимірювального зусилля, наявності

масляної плівки або пилу може бути недостатній контакт вимірювальної поверхні приладу з поверхнею вимірюваної деталі, в іншому випадку - велике вимірювальне зусилля може викликати неприпустимі деформації деталі, що знижують точність вимірювань.

Чутливість - це відношення зміни показань показчика вимірювального приладу до зміни вимірюваної величини, що викликаються цією зміною величини. Для вимірювальних приладів з механічним перетворювачем (важільних, зубчастих та ін.) поняття «чутливість» співпадає з поняттям передавальне відношення.

Похибки

І. Похибки вимірювань

Похибка вимірювання залежить від сукупності різних причин: недосконалості методів вимірювань, недосконалості засобів вимірювань, неточності використовуваних засобів, низької кваліфікації технічного персоналу. Кожна з перерахованих причин виникнення похибок може стати джерелом причин, аналіз яких дозволить визначити сумарну похибку вимірювання.

Зазвичай ці фактори об'єднують в дві основні групи:

1. Фактори, які з'являються чи зникають несподівано, так що передбачити їх інтенсивність і дію буває майже неможливо. До них відносяться, наприклад, перекося рухомих елементів приладів в напрямних через зазори, нерегулярні зміни моменту тертя в опорах, ослаблення уваги оператора і ін. Складова сумарної похибки від дії чинників цієї групи називається *випадковою похибкою вимірювання*.
2. Чинники, які виявляються постійно або змінюються за певним законом, наприклад, прояв постійної похибки міри при вимірюванні, прояв неточності кроку гвинта в мікрометричному інструменті і ін. Складова сумарної похибки в даному випадку носить назву *систематичної похибки вимірювання*.

В процесі вимірювання обидва види похибок проявляються одночасно і сумарна похибка вимірювання може бути представлена їх сумою.

Серед похибок розрізняють так звані *грубі похибки або промахи*. Прикладами грубих похибок служать невірний відлік за шкалою, помилка в складанні блоку мір. Результати вимірювання з грубими похибками слід негайно виключати з ряду вимірювань.

Кожна з перерахованих категорій похибок має свої особливості, аналіз яких дозволяє або усунути їх вплив на результат вимірювань відповідними операціями, або виключити їх внесенням поправок, або врахувати їх появу так званою граничною похибкою.

Залежно від форми числового виразу розрізняють *абсолютні і відносні похибки*.

Абсолютна похибка - похибка, виражена в одиницях вимірюваної величини, зазвичай визначається формулою

$$\Delta X = X - A \quad (1.1)$$

де X - значення, отримане при вимірюванні;

A - дійсне значення вимірюваної величини.

Відносна похибка - відношення абсолютної похибки вимірювання до дійсного значення вимірюваної величини. Звичайне її значення виражають у відсотках:

$$\delta = \frac{\Delta X}{A} \cdot 100\% \quad (1.2)$$

Складовими сумарної величини похибки вимірювання є інструментальна похибка вимірювання (похибка виірювального засобу), похибка методу вимірювання, похибка зчитування, похибка інтерполяції при зчитуванні, похибка від паралакса і ін.

II. Похибки вимірювальних засобів

Абсолютна похибка міри - різниця між її номінальним в дійсним значеннями.

Абсолютна похибка вимірювального приладу – алгебраїчна різниця показань між номінальним і дійсним значеннями вимірюваної величини.

Відносна похибка вимірювального засобу - виражене у відсотках відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної або відтвореної даним вимірювальним засобом величини.

Якщо діапазон вимірювання приладу охоплює і нульове значення вимірюваної величини, абсолютна похибка звертається в нескінченність у відповідній йому точці шкали. В цьому випадку користуються *зведеною похибкою*, що дорівнює відношенню абсолютної похибки до деякого нормуючого значення, наприклад, діапазону вимірювань, верхньої межі вимірювань, довжини шкали та ін., що визначається відповідними стандартами.

Статична похибка має місце при вимірюванні постійних величин після завершення перехідних процесів в елементах пристроїв.

Динамічна похибка - різниця між похибкою засобу вимірювання в динамічному режимі і його статичною похибкою, що відповідає значенню величини в даний момент часу.

Згідно загальної класифікації статичні похибки вимірювальних засобів ділять на систематичні і випадкові.

Систематичні похибки є в загальному випадку функціями вимірюваної величини та величин, що впливають на вимірювання (значення температури, вологості та ін.). У функції вимірюваної величини їх знаходять при перевірці або атестації, наприклад, вимірюють значення, відповідні декільком точкам шкали, будують криві або складають таблицю похибок для визначення поправок. Таким чином, виділення систематичних похибок в окрему групу обумовлюється лише тим, що при перевірці або атестації вони можуть бути

визначені для кожної точки шкали і виключені з результатів подальших вимірювань. Серед способів виключення розрізняють наступні:

- усунення причин, що викликають появу систематичних похибок за допомогою юстировочних і регулювальних операцій при складанні;
- внесення поправок по атестату в результаті вимірювання; виключення систематичних похибок самих шкал; застосування коректувальних пристроїв.

Мікрометричні інструменти

1. Штангенінструменти

До штангенінструментів відносяться штангенциркулі [див. Додаток 1.2 (рис.1.1,а), штангенглибиноміри (рис 1.1,б) і штангенрейсмуси (рис 1.1,в)]. Вони призначені для абсолютних вимірювань лінійних розмірів, а також для відтворення розмірів при розмічуванні деталей. Основними частинами штангенінструментов є шкала-лінійка з поділками 1 мм і допоміжна шкала – ноніус, що переміщується по лінійці. По ноніусу відраховують десяті і соті долі міліметра. Найбільшого поширення набули ноніуси з точністю відліку 0,1; 0,05; 0,02 мм. Для відліку за допомогою ноніуса спочатку визначають за основною шкалою ціле число міліметрів перед нульовою поділкою ноніуса. Потім додають до нього число долей по ноніусу відповідно до того, який штрих шкали ноніуса ближче до штриха основної шкали.

Штангенциркулі (рис 1.1,а)

ГОСТ 166-73 передбачав виготовлення трьох типів штангенциркулів: ШЦ – I з ціною поділки 0,1 мм, ШЦ - II з ціною поділки 0,05 мм і ШЦ - III з ціною поділки 0,05 і 0,1 мм. Крім того, застосовують раніше виготовлені штангенциркулі з ціною поділки 0,02 мм.

Штангенглибиноміри (рис 1.1,б)

принципово не відрізняються від штангенциркулів. Робочими поверхнями штангенглибиномірів є поверхня торця штанги 7, а база для вимірювань – нижня поверхня підставки.

Штангенрейсмуси (рис 1.1,в)

це основні вимірювальні інструменти для розмічування деталей. Вони можуть мати додатковий приєднувальний вузол для встановлення вимірювальних голівок паралельно або перпендикулярно до площини підставки.

2. Мікрометричні інструменти

До мікрометричних інструментів відносяться гладкі мікрометри, мікрометричні нутроміри, глибиноміри, важільні мікрометри, які призначені для абсолютних вимірювань зовнішніх і внутрішніх розмірів, висот уступів, глибини отворів та ін. Принцип дії цих інструментів заснований на використанні гвинтової пари (гвинт – гайка) для перетворення обертального руху мікрогвинта в поступальний. Ціна поділки таких інструментів 0,01 мм. Конструкція мікрометра показана на рис.1.3,а.

Відліковий пристрій мікрометричних інструментів (рис. 1.3,б) складається з двох шкал: поздовжньої 1 і кругової 2.

Випускають мікрометри з числовим відліком всього результату вимірювання (рис.1.3,в). Відліковий пристрій діє за механичним принципом. У відповідності з ГОСТ 6507-78, випущено гладкі мікрометри типа МК з межами виміру $0 \div 25$, $25 \div 50$ і т.д. через кожні 25 мм до $275 \div 300$ мм, а також $300 \div 400$, $400 \div 500$ і $500 \div 600$ мм. Гранична похибка мікрометрів залежить від верхніх меж вимірювання і може складати від ± 3 мкм (для мікрометрів з межею вимірювання $0 \div 25$) до ± 50 мкм (для мікрометрів з межею вимірювання $400 \div 500$ мм).

Мікрометричний нутромір (штїхмас) (рис.1.1 додаток 1.1) складається із стебла 5, мікрометричного гвинта 9, з'єднаного з корпусом барабана 6 гайкою 8. Один кінець гвинта є вимірювальним наконечником.

Мікрометричні нутроміри випускають з межами вимірювань 50 - 75, 75 - 175, 75 - 600, 150 - 1250, 800 - 2500, 1250 - 4000, 2500 - 6000 і 4000-10000 мм. При необхідності збільшення меж вимірювань використовують подовжувачі.

Мікрометричний глибиномір (рис 1.2 додаток 1.1) має стебло 3, закріплене на траверсі 5. Однією вимірювальною поверхнею є нижня площина траверси, іншою - площина мікрометричного гвинта 6. У комплект мікрометричного глибиноміра входять встановлювальні міри з плоскими вимірювальними торцями. Згідно ГОСТ 7470-67 мікрометричні глибиноміри випускають з межами вимірювань $0 \div 100$ і $100 \div 200$ мм.

3. Важільно-механічні пристрої

До важільно-механічних пристроїв відносять індикатори, важільні скоби, індикаторні нутроміри і скоби, мініметри, важільні мікрометри, вимірювальні голівки і т.д. Ці пристрої мають високу точність завдяки застосуванню в них *важільно-механічних* систем, що дозволяють значно збільшити передавальне число механізму.

4. Пристрої із зубчатою передачею

У виробничих умовах і вимірювальних лабораторіях для абсолютних вимірювань широко використовують індикатори або індикаторні вимірювальні голівки. Індикатори можна розділити на два типи: годинникового типу (з зубчастою передачею) і важільно-зубчасті. Механізм передачі індикатора годинникового типу (рис 1.6) складається із зубчастих пар. Індикатор має дві шкали: велику - для відліку доль міліметра і малу - для відліку цілих міліметрів.

Похибка індикаторів годинникового типу складає від $\pm 4,5$ до ± 26 мкм, проте вони знаходять застосування для точних вимірювань завдяки великим межах вимірювання. Індикатори годинникового типу випускають двох класів точності: (0 і I згідно ГОСТ 577-68) в двох модифікаціях: індикатори з переміщенням вимірювального стрижня паралельно шкалі і індикатори з переміщенням вимірювального стрижня перпендикулярно шкалі. Перші мають межі вимірювання $0 \div 2$ (малогабаритні), $0 \div 5$ і $0 \div 10$, другі - $0 \div 2$ мм.

Випускають також індикатори годинникового типу з цифровим (електронним) відліком.

5.Калібри

На відміну від універсальних вимірювальних засобів, оснащених шкалою, *калібри не визначають числового значення вимірюваної величини*. Так, граничні калібри, служать для виміру граничних розмірів виробів і виконують такі ж функції, як бесшкальні сортирувальні вимірювальні засоби (наприклад, автомати), і розподіляють вироби на три групи: «придатні», «брак по завищених розмірах» і «брак за заниженими розмірами».

За конструктивними ознаками розрізняють калібри жорсткі, регульовані, односторонні і двосторонні граничні та ін.

За призначенням калібри розділяють на:

робочі - призначені для перевірки виробів на робочому місці;

калібри бракувальника - для контролю виробів бракувальниками і відділів контролю заводів-виробників;

приймальні - для контролю виробів замовником;

контрольні – для перевірки робочих і приймальних калібрів.

У основу конструювання калібрів покладений принцип подібності, згідно якому прохідні калібри повинні бути прототипом сполученої деталі і обмежувати її елементи, тоді як непроходними калібрами слід перевіряти кожен елемент окремо.

Основні вимоги, що пред'являються до калібрів зводяться до наступних: точність виготовлення; зносостійкість, твердість, постійність робочих розмірів; найбільша жорсткість при найменшій вазі; швидкість і зручність вимірювання; антикоррозійність.

В Додатку 1.2 до цієї лабораторної роботи надається інформація про види і технічні характеристики механічних вимірювальних інструментів, що випускаються провідними світовими фірмами.

Частина II

Контроль геометричних розмірів виробів у вигляді стандартних зразків (СОП)

У представлений лабораторній роботі об'єктами контролю (ОК) виступають вироби, що являють собою зразки, виготовлені з різних матеріалів (тобто що мають різні акустичні характеристики), і використовувані як стандартні зразки під час настроювання апаратури НК.

На сьогоднішній день застосування найсучаснішої ультразвукової техніки для проведення ультразвукового контролю (УЗК) виробів і матеріалів неможливе без достовірного і чіткого відтворення параметрів контролю і відтворення всіх необхідних налаштувань апаратури. Основною умовою виконання даної вимоги є обов'язкове проведення перевірки апаратури НК, яка повинна підтвердити її роботоздатність і встановити значення характеристик, змінних під час експлуатації.

Таку перевірку і налаштування параметрів ультразвукового контролю здійснюють з використанням стандартних зразків (СЗ) і стандартних зразків підприємства (СЗП). Див. Додаток 1.3.

Зразком називають засіб ультразвукового контролю у вигляді твердого тіла, призначений для зберігання і відтворення фізичних величин (геометричних розмірів, швидкості звуку, загасання), використовуваних при налаштуванні параметрів приладів і перетворювачів. У ряду «Об'єкт контролю»; «Методика проведення контролю»; «Стандартний зразок»; «Дефектоскоп + перетворювач»; «Оператор-дефектоскопіст» функціональне призначення стандартного зразка - це забезпечення єдності вимірювань і однозначність трактування результатів контролю. Від властивостей зразка багато в чому залежать подальші висновки: «ПРИДАТНИЙ» - «НЕПРИДАТНИЙ», - те, заради чого і проводиться ультразвуковий контроль.

Застосування стандартних зразків регламентується багатьма нормативними документами. В Україні при проведенні дефектоскопії згідно

міждержавних ГОСТ 14782-86 передбачено чотири стандартні зразки: (далі рос. мовою: СО-1; СО-2; СО-3; СО-4 (комплект КОУ-2 рис 1.3.1), які використовуються при ехоїмпульсному методі і суміщеній схемі включення п'єзоперетворювачів (ПЕП) з плоскою робочою поверхнею на частоті 1,25 МГц і вище та за умови, що ширина перетворювача не перевищує 20 мм. У решті випадків для перевірки основних параметрів апаратури і контролю повинні використовуватися стандартні зразки підприємства.

Наведемо дані про деякі стандартні зразки.

Стандартний зразок (російською СО-1) виготовляють з оргскла. Він призначений для визначення умовної чутливості в (мм) глибини залягання циліндричного отвору (моделі дефекту) і настроювання на задану умовну чутливість ехо-імпульсних ультразвукових дефектоскопів.

Стандартні зразки (рос. мов.) **СО-2, СО-3, СО-4** виготовляють з низьковуглецевої сталі перлітного класу з дрібнозернистою структурою марки Сталь 20 згідно ГОСТ 1050, або марки Ст 3 згідно ГОСТ 14637.

Стандартний зразок СО-2 (рис.1.3.2) застосовують для: визначення похибки глибиноміра, вимірювання кута вводу УЗ-променя, перевірки мінімальної глибини прозвучування, «мертвої» зони перетворювача, визначення чутливості дефектоскопа.

Стандартний зразок СО-3 (рис. 1.3.3) призначений для:

- визначення точки виходу «0» ультразвукового променя
- визначення чутливості для похилого ПЕП
- настроювання глибиноміра для похилого ПЕП

Окрім розглянутих стандартних зразків для контролю певних типів виробів використовують додаткові зразки, що виготовляються відповідно до відомчої нормативної документації.

Кожен зразок повинен мати маркіровку з реєстраційним номером і паспорт, куди заносяться результати метрологічної атестації і перевірок.

З метою отримання достовірних і відтворюваних результатів, стандартні зразки зазнають багаторівневого контролю, як на етапі запуску, перевірки і відбору заготовок, так і в процесі виробництва.

Частина III

Контроль геометричних розмірів виробів у вигляді механічних та електричних елементів

У представленій лабораторній роботі об'єктами контролю геометричних розмірів крім стандартних зразків підприємств (СОП) також виступають вироби, що являють собою механічні та електричні елементи, що застосовуються в вузлах систем НК.

Для ознайомлення та обміру надаються такі елементи, як мікросхеми, транзистори, електричні дроти різних марок, та інші широкозастосовані елементи; а також деталі з механічних вузлів.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з вимірювальними інструментами, що застосовуються в роботі та їх параметрами.
2. Дані про вимірювальні інструменти і їх характеристики занести в відповідну таблицю Звіту. (Табл. 1)
3. Провести обмір геометричних параметрів виданих елементів (три рази) декількома інструментами. Накреслити ескізи елементів (можна в таблиці), вказавши тип, марку елемента, геометричні розміри та тип вимірювального інструмента. Інформацію занести до Звіту.
4. Порівняти дані обміру геометричних розмірів елементів з їх паспортними (довідниковими) даними.
5. Визначити усереднену відносну похибку вимірювання. (ф.1.2). Занести до Звіту.
6. Накреслити ескіз виданої деталі чи стандартного зразка підприємства (СОП), що підлягає обмірюванню. На ескізі проставити геометричні розміри.
7. Зробити висновки по роботі.

8. Повністю оформити Звіт.

Оформлення Звіту

Форма Звіту про виконання лабораторних робіт №1, №2, №3: формат А4,

в Звіті зазначити:

1. Мету роботи;
2. Скорочені теоретичні відомості;
3. Заповнити таблицю 1.1

Табл.1.1

№ п.п	Назва елементу, що обміряється	Найменування, тип інструмента, що застосовано	Характеристики інструмента: межі вимірювання, ціна поділки основної та ноніусної шкали, кл. точн. та ін.	Мета застосування інструмента в роботі

4. Додатково надати ескізи елементів та деталі (стандартного зразка СЗ),
що обміряються (на ф. А4);
5. Зробити висновки по роботі.

Примітка : На всі три частини комплексної лабораторної роботи складається один Звіт.

Контрольні запитання

1. Види вимірювальних засобів;
2. Основні параметри та характеристики вимірювальних пристроїв;
3. Похибки вимірювальних засобів;

4. Метрологічні показники приладів для лінійних і кутових вимірювань, забезпечених шкальними відліковими пристроями;
5. Похибки вимірювань;
6. Основні завдання неруйнівного контролю;
7. Призначення СЗ і СЗП (рос. - СОП)
8. Роль точності виконання геометричних розмірів елементів електричних, механічних вузлів систем НК та стандартних зразків при їх практичному застосуванні;

Рекомендована література

1. Тищенко О.Ф. Контрольно-измерительные приборы в машиностроении, М. Машиностроение, -344с.
2. Міжнародна система допусків і посадок ISO, збірник стандартів
3. http://www.ua.all-biz.info/zoom_item.php?aid
4. Первицкий Ю.Д. «Расчет и конструирование точных механизмов» - М. «Машиностроение», 1975
5. Ермолов И.Н. Останин Ю.Я. «Методы и средства неразрушающего контроля качества», М.: Высш. Шк., 1988.-368с.
6. Неразрушающий контроль в 5 кн.п/ред. Сухорукова В.В. –М. Высшая шк., 1992.

ДОДАТОК 1.1

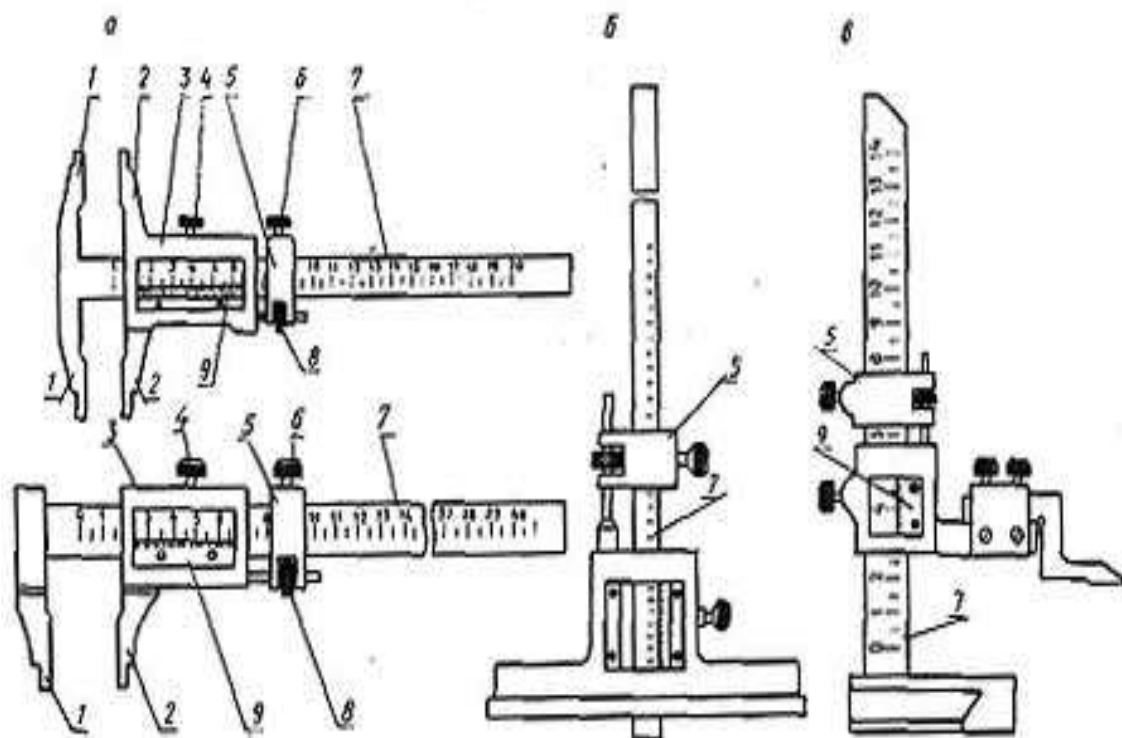


Рис.1.1.

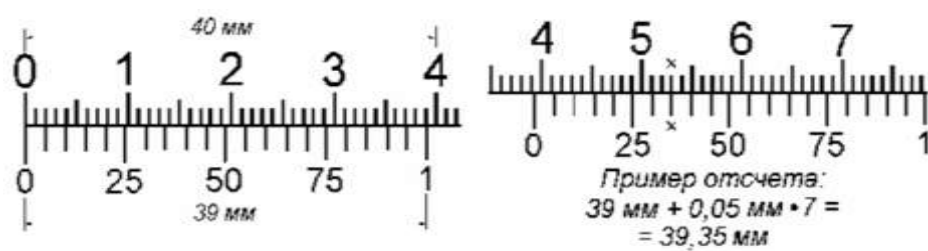


Рис.1.2.

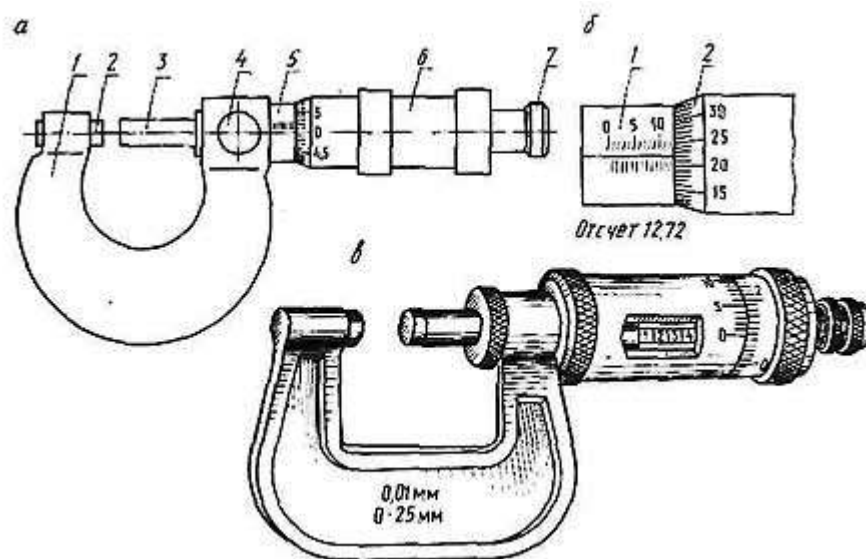


Рис.1.3.

1 2 3 4 5 6 7 8 9

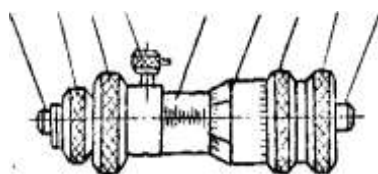


Рис.1.4.

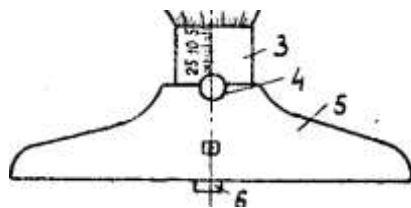


Рис.1.5

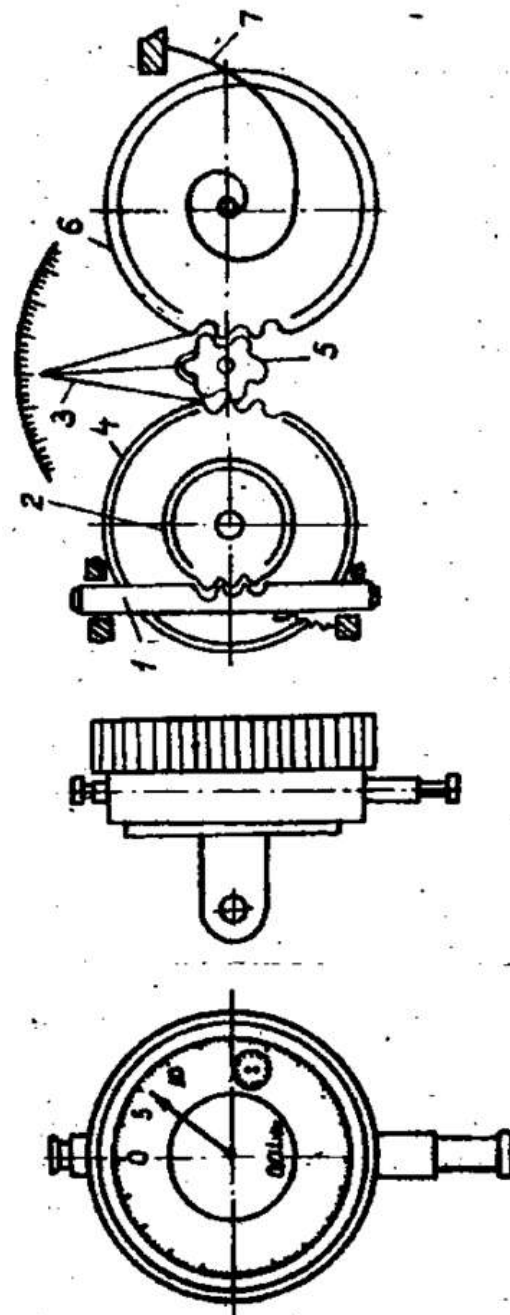


Рис.1.6

ДОДАТОК 1.2

Измерительный инструмент немецкой компании Vogel–Germany (крупнейшего поставщика более 6000 типоразмеров измерительных инструментов)

Инструмент гарантированного качества, соответствует стандарту EN ISO 9001:2000.



Глубиномеры

- для шпоночных пазов Vogel
- индикаторный отечественный
- микрометр цифровой Vogel
- микрометрический Vogel
- микрометрический прецизионный Vogel
- цифровой, Vogel



Дальномеры

- ультразвуковой (лазерный)



Рулетки

- измерительные рулетки 1м-50м
- электронная рулетка
- с лентой ПВХ
- рулетка металлическая
- с магнитом, противоударные, Vogel
- рулетка цифровая



Секундомеры

- стрелочные Vogel
- секундомер механический Vogel
- электронные секундомеры Vogel



Измерительные головки (индикаторы)

- головка измерительная Vogel с магнитной задней крышкой
- многооборотные
- однооборотные
- прецизионные Vogel
- цифровые Vogel с выходом данных



Скобы

- скоба измерительная
- скоба индикаторная
- скоба рычажная



Индикаторы

- индикаторы уровня
- цифровые индикаторы
- ЖК индикаторы
- индикаторы часовые
- индикатор давления
- индикаторы часового типа
- технические индикаторы
- жидкокристаллические индикаторы
- стрелочные индикаторы
- электронные индикаторы
- для внутреннего измерения Vogel



Стойки

- стойка индикаторная

Калибры



- скобы
- калибры кольца резьбовые
- калибр кольцо рабочее
- калибр пробка рабочая, контрольная односторонняя
- калибры пробки гладкие, резьбовые
- проволоочки



Кольца установочные

- фирмы Vogel



Комплектующие для Vogel



Кронциркуль

- для внутренних измерений
- для наружных и внутренних измерений
- для наружных измерений
- индикаторный для внутренних измерений
- индикаторный для наружных измерений
- цифровой для внутренних измерений
- цифровой для наружных измерений



Линейки Vogel

- электронная линейка
- поверочная линейка
- линейка телескопическая
- металлические линейки
- деревянные линейки
- для измерения диаметров
- лекальная линейка
- линейка стальная
- самоклеящиеся
- транспортиры
- цифровые линейки



Стол

- доводочный и контрольный, Vogel
- стол измерительный без индикатора Vogel
- стол измерительный прецизионный Vogel



Счетчики

- счетчик длины (метров), механический Vogel
- механический счетчик (ручной) Vogel
- счетчик оборотов (механический) Vogel
- счетчик числа оборотов цифровой, Vogel (тахометр)



Твердомеры

- твердомеры для металлов
- твердомеры для неметаллов



Термометры

- электронные термометры
- цифровой термометр
- термометр технический
- термометр лазерный, Vogel
- с щупом цифровой Vogel
- промышленные термометры



Толщиномеры

- (ультразвуковые толщиномеры)
- рычажный толщиномер
- цифровой с печатающим устройством, Vogel
- толщиномер покрытий, Vogel
- для измерения стенок, Vogel
- толщиномер индикаторный

- комбинированные линейки

Лупа Vogel



- очки с увеличительными стеклами
- счетчик нитей
- микроскоп (ручка)
- лупа измерительная в чехле
- лупа (увеличительное стекло) для изготовления часов
- настольная лупа на подставке
- лупа увеличительная на ручке
- с измерительной шкалой



Угломеры

- цифровой угломер
- измеритель градусов Vogel
- электронный угломер
- универсальный угломер Vogel

Микрометры



- микрометр гладкий
- электронный микрометр
- резьбовой микрометр
- скобы для больших диаметров
- циферблатные
- микрометры цифровые



Угольники

- угольник слесарный со шкалой Vogel
- угольник 90
- столярный угольник
- Vogel с основанием
- для не прямых углов, Vogel
- угольник поверочный
- слесарные лекальные отечественные
- специальные Vogel
- установочные Vogel



Микроскопы электронные

- стереоскопический



Уровень

- уровень строительный
- уровень брусковый
- уровни рамные Vogel
- ватерпас, Vogel
- градусный Vogel
- из легкого металла Vogel



Нутромеры

- нутромер индикаторный
- микрометрические с откручиваемыми мерами
- нутромер микрометрический
- цифровой Vogel
- без индикатора, Vogel



Циркули

- без подвижной дуги Vogel
- пружинный с закаленными концами Vogel
- пружинный со сменными иглами Vogel
- с подвижной дугой Vogel



Приспособления

- Vogel для замера высоты сварных швов
- Vogel для коленчатых валов
- Vogel рычаг угловой
- Vogel салфетки
- K 02058
- держатель для одиночных щупов



Шаблоны

- универсальный шаблон сварщика
- для контроля заточки сверла, резцов
- для контроля сварных швов, отверстий
- для контроля установки пластин резцов Vogel

- для проверки концевых мер
- для работы с концевыми мерами
- мостик для индикатора
- рубанок
- пластины магнитные Vogel



Профилометры

- для измерения шероховатости



Плиты

- магнитная плита
- поверочные плиты, Vogel
- со скосом Vogel
- угловые, Vogel
- электромагнитные плиты



Измерительные приборы

- электроизмерительные приборы
- центрирующий Vogel
- краеискатель Vogel
- нулевой установщик



Призмы

- магнитные с регулятором
- парные параллельные
- парные параллельные, 4 паза
- с хомутом
- угловые



Регистраторы

- цифровые регистраторы данных
- видео регистратор параметров
- дисплей
- по радио Vogel

- для копирования сложных поверхностей
- радиусные, резьбовые, угловые



Штангенглубиномеры

- отечественный
- прецизионный
- стрейсмас для измерения уступов Vogel
- цифровой с выходом данных



Штангенрейсмас

- Vogel универсальный
- Vogel цифровой
- отечественный



Штангенциркули

- штангенциркули электронные
- цифровой штангенциркуль. Vogel
- без глубиномера односторонний
- разметочный Vogel
- штанген циркуль с глубиномером
- штанген циркуль с глубиномером и индикатором Vogel



Штативы

- магнитный
- универсальный гибкий Vogel
- универсальный магнитный Vogel
- универсальный с вакуумной основой Vogel
- универсальный с литым основанием



Щупы

- (набор щупов) Vogel
- в рулетках с закаленной лентой
- в рулетках с нержавеющей лентой

- через кабель Vogel

- щупы измерительные
одиночные

ДОДАТОК 1.3



Рис 1.3.1

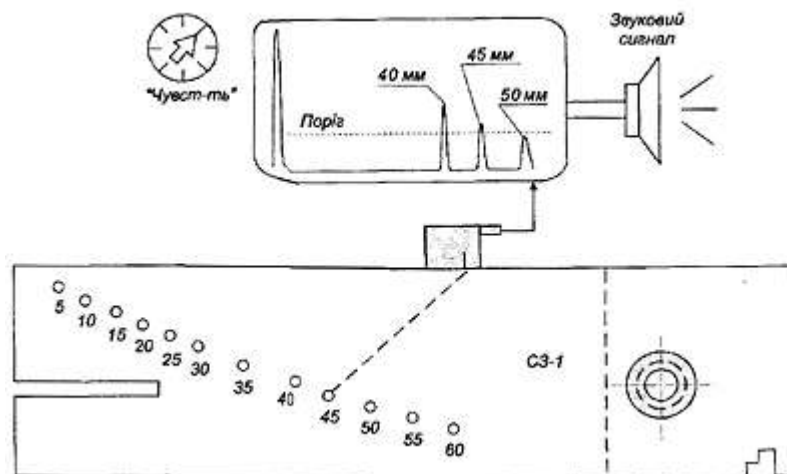


Рис 1.3.2



Рис 1.3.3



Рис 1.3.4

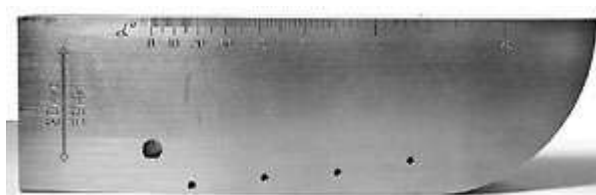


Рис 1.3.5



Рис 1.3.6



Рис 1.3.7



Рис 1.3.8



Рис 1.3.9 і Рис 1.3.10

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Викреслювання зубців евольвентного профілю нульових, додатніх і від'ємних коліс методом обкочування

Вступ

В системах неруйнівного контролю використовують в якості допоміжних різні механічні вузли. Це, наприклад, скануючі механізми та різні електроприводи для переміщень як первинних перетворювачів так і об'єктів контролю. Дуже часто в цих пристроях використовують різні зубчасті механізми, від точності виготовлення яких залежить і точність відтворення рухів і, в підсумку, якість проведення самої процедури контролю. Зубчасті колеса, які є складовими ланками різних механізмів, самі після процесу їх виготовлення стають об'єктами контролю і потребують контролювання по багатьох параметрах. Нагадаємо, що однією з задач неруйнівного контролю є визначення відхилень фактичних геометричних розмірів об'єктів від заданих.

Основною метою цієї лабораторної роботи є ознайомлення як з методами виготовлення зубчастих елементів, так і визначення та вимір геометричних розмірів змодельованих макетів різних зубчастих коліс.

Мета та основні завдання роботи

Ознайомитися з нарізанням нульових і коригованих зубчастих коліс з евольвентними профілями. Змодельовати нарізання різних зубчастих коліс.

Основні теоретичні відомості

Існує два основних методи нарізання зубчастих коліс: **копіювання та обкочування.**

Метод копіювання

При цьому способі виготовлення зубчастих коліс профіль інструменту являє собою точну копію колеса або певної його частини, наприклад, однієї западини між сусідніми зубцями. Для зубчастих коліс, що виготовляються литвом або штампуванням, інструментами можна вважати відповідно ливарну форму або штамп.

Зубчасті колеса можна нарізати на зубостругальному або зубофрезерному верстаті. Фрезерування зубчастих коліс отримало широке застосування. Інструментом тут є спеціальна фреза, що називається модульною.

Форма перерізу робочої частини модульної фрези I (Додаток 4, рис. 4.1) точно співпадає з профілем западини між сусідніми зубцями колеса, що нарізається. Після встановлення заготовки 2 на ділильній голівці фрезерного верстата фреза I починає обертатися навколо своєї власної осі O-O, і водночас разом з віссю поступово переміщується за стрілкою A до тих пір, поки западина не буде профрезерована на всю ширину заготовки b. Потім фреза 1 відводиться назад, після чого заготовка 2 повертається на $1/z$ частину обороту і починається фрезерування наступної западини. Вказаний процес продовжується до тих пір, поки не будуть профрезеровані всі z западин і тоді ми отримаємо зубчасте колесо з z зубцями.

При виготовленні зубчастих коліс способом копіювання необхідна велика кількість інструментів, так як для точного виготовлення декількох зубчастих коліс однакового модуля m необхідний інструмент, окремий для кожного колеса з конкретною кількістю зубців. Це викликано тим, що западини між сусідніми зубцями двох коліс одного модуля, але з різною кількістю зубців відрізняються одна від одної, і ця різниця тим більша, чим більша різниця між кількістю зубців.

Метод обкочування

Розглянемо нарізання зубчастих коліс способом обкочування за допомогою зубчатого довбача і зубчастої рейки - довбача, що має назву інструментальної рейки.

Зубчастий довбач являє собою зубчасте колесо-інструмент О (Додаток 4 рис. 4.2) з відповідними заточками. Схематично процес нарізання зубчатого колеса відбувається наступним чином. Під час переміщення зубчатого довбача О вниз (див. рис.4.2) відбувається процес довбання. Потім довбач повертається у вихідне положення (переміщується вгору) і повертається навколо своєї осі на малий кут $\Delta\varphi_0$. Одночасно на кут $\Delta\varphi$ повертається і заготовка. Між $\Delta\varphi_0$ та $\Delta\varphi$ повинно бути витримано таке ж співвідношення, як і між кутовими швидкостями, тобто можна записати вираз і через співвідношення зубців:

$$\frac{\Delta\varphi_0}{\Delta\varphi} = \frac{Z}{Z_0}, \quad (4.1)$$

де Z , Z_0 - відповідно число зубців колеса, що нарізається та довбача.

Після повороту довбач О знову здійснює рух вниз і вгору; потім знову відбувається поворот довбача та заготовки і т.д. Зубчасте колесо буде повністю нарізано, коли сума всіх кутів $\Delta\varphi$ стане рівною 360° . Під час руху відносно заготовки довбач обкочується навколо неї. Звідси і назва методу, який розглянуто.

Зубчаста рейка-довбач (інструментальна рейка) відповідає зубчастому довбачу з безкінечною кількістю зубців. Інструментальна рейка має два поступальних рухи: один в напрямку стрілки А (рис. 4.3), а інший - у напрямку, перпендикулярному до площини креслення. Переміщення рейки Δy та кут $\Delta\varphi$ повороту заготовки З пов'язані між собою співвідношенням:

$$\Delta y = r \cdot \Delta\varphi = (mZ/2) \cdot \Delta\varphi, \quad (4.2)$$

де r - радіус ділильного кола зубчатого колеса, що нарізається.

Інструментальна рейка в основному має 5 - 10 зубців, які вона й нарізає під час свого повного переміщення, а потім повертається назад і процес нарізання зубців повторюється, доки не буде повністю нарізано зубчасте колесо з необхідною кількістю зубців.

Розміри зубців інструментальної рейки, що забезпечують беззорове зачеплення, стандартизовані. Для евольвентного зачеплення рейка має прямолінійний контур зубців (рис. 4.4) з нахилом під кутом $\alpha_{to} = 20^\circ$.

Інструментальна рейка певного модуля m має крок $p = \pi m$, однаковий на будь-якій горизонтальній прямій, що перетинає контур рейки. Серед всіх зазначених прямих є така **пряма, на якій товщина зуба S дорівнює ширині западини I . Ця пряма називається модульною прямою.**

Висоти голівки зуба і ніжки зуба рейки, що відраховуються від модульної прямої, однакові і відповідно рівні $h_{at} = h_{ft} = m$ (рис. 4.4). До висоти голівки зуба і висоти ніжки зуба рейки додана величина, що дорівнює $c \cdot m$ (зазвичай $c = 0,25$). Це необхідно для того, щоб отримати відповідну глибину западини зубців колеса, що нарізають. Частину інструментальної рейки, обмежену висотою голівки h_{at} , висотою ніжки h_{ft} і прямолінійними ділянками зубців, називають вихідним контуром (на рис.4.4 цей контур заштриховано). Евольвентну частину зуба, колеса, що виготовляється, нарізає тільки вихідний контур, а частина зуба рейки вище вихідного контуру утворює галтель зуба колеса.

При нарізанні зубчастого колеса з кількістю зубців Z методом обкочування інструментальна рейка і заготовка мають певну пряму й коло, що перекочуються одне по одному без проковзування. Цю пряму рейки називають **ділильною прямою**. Так як ділильна пряма і ділильне коло перекочуються одне по одному без проковзування, на цих лініях будуть

виходити однакові кроки. Звідси й назва цих ліній - ділильні. Зубчасте колесо має тільки одне ділильне коло діаметром

$$d = mZ. \quad (4.3)$$

На відміну - інструментальна рейка має нескінченну безліч ділильних прямих, оскільки на всіх прямих крок p однаковий.

Якщо встановити рейку щодо заготовки так, щоб модульная пряма торкалась ділильним колом заготовки (рис.4.5, а), буде нарізано **зубчасте колесо, у якого діаметри ділильного і початкового колес збігаються. Ці зубчасті колеса будемо називати нульовими.** Якщо рейку зрушимо **від** центру колеса, що нарізають, на певну величину x (рис.4.5, б), отримаємо так званий **додатній** зсув (зміщення) рейки (буде нарізатися **додатнє зубчасте колесо**). У цьому випадку ділильне коло колеса, що нарізають торкається ділильна пряма рейки, по якій ширина западини більша товщини зуба. Якщо ж рейку зсунемо **до** центру колеса, що нарізають, отримаємо **від'ємний** зсув рейки (нарізається **від'ємне колесо**). При цьому ділильне коло колеса буде торкатися ділильної прямої, у якої ширина западини буде менше товщини зуба.

У першому випадку діаметри кіл верхівки і западин зубчатого колеса, що нарізають і товщина зубців по ділильному колу збільшуються, а в другому випадку - зменшуються. Якщо одне з парних колес нарізано з додатнім зсувом (зміщенням), а інше - з рівним йому за величиною від'ємним зсувом, тобто алгебраїчна сума величин відносних переміщень становитиме:

$$X_{\Sigma} = X_1 + X_2 = 0, \quad (4.4)$$

то початкові кола збігаються з ділильними і міжцентрова відстань залишається незмінною (такою ж, як у коліс, нарізаних без зміщення). Такі колеса називаються рівнозміщеними.

Якщо ж обидва парних колеса нарізані при різних коефіцієнтах зміщення, тобто

$$X_{\Sigma} = X_1 + X_2 \neq 0, \quad (4.5)$$

то початкові кола, у цих коліс не співпадуть з ділильними, а міжцентрова відстань зміниться (буде відмінною від міжцентрової відстані нульових коліс з таким же модулем і тим же числом зубців). Ці колеса називаються нерівнозміщеними.

Якщо при цьому $X_{\Sigma} > 0$, то міжцентрова відстань виходить більше, ніж у нульових коліс, якщо ж $X_{\Sigma} < 0$, то міжцентрова відстань виходить менше.

Зубчасті колеса, нарізані зі зміщенням інструментальної рейки, називаються коригованими. Основне завдання коригування - усунення підрізання зубців, зменшення зношування та підвищення міцності зубців.

Величину відносного зміщення рейки, необхідну для усунення підрізання зуба, визначаємо за формулою:

$$X = \frac{17 - Z}{17} = \frac{\chi}{m}, \quad (4.6)$$

де Z – кількість зубців колеса; χ - абсолютне зміщення рейки;

X - коефіцієнт, відносного зміщення.

Опис експериментальної установки

Лабораторний макет моделює процес нарізання зубців на колесі методом обкочування (на заготовці певного діаметра) .

Прилад / рис.4.6 / складається з диска і рейки і змонтований на спільній панелі. Диск складається з двох частин: верхньої частини 1, виконаної з оргскла та призначеної для закріплення на ній паперової «заготовки» колеса, і нижньої металевої частини 2, діаметр якої дорівнює діаметру ділильного кола колеса. Обидва кола жорстко з'єднані між собою.

При імітації виготовлення (викреслюванні) зубців на заготовці, диск приладу обертається навколо власної нерухомої осі 0, а рейка 3 переміщується поступально в направляючих 4, при цьому ділильне коло заготовки перекочується без проковзування модульною або ділильною прямою рейки. Переміщення обох ланок забезпечується струною 12, яка охоплює диск 2 і закріплюється кінцями на рейці. Необхідне натягнення струни 12 здійснюється поворотом важеля 11 за ходом годинникової стрілки.

Спільний рух рейки і диска здійснюється за допомогою храпового механізму, що приводиться в дію важелем 5. Натисканням на важіль 5 рейка робочою собачкою зсувається ліворуч на 4-5 мм; при вивільненні важеля рейка фіксується запираючою собачкою. Поворотом важеля 6 проти годинникової стрілки обидві собачки виводяться з зачеплення з гребінкою рейки і остання вільно переміщується від руки ліворуч чи праворуч. Крім того, рейка може зміщуватись в напрямку до центру або від центру заготовки. Це зміщення відраховується за шкалою 7, що фіксується гвинтами 8. Зазначеним переміщенням рейку можна встановити так, що ділильне коло 2 буде торкатись і перекочуватись по ній без проковзування по будь-якій прямій рейки.

На верхній площині рейки вигравірувані дані макета: m - модуль, кут профілю рейки $\alpha_{rw} = 20^\circ$ і d - діаметр ділильного кола.

Заходи безпеки під час виконання лабораторної роботи

В зв'язку з наявністю рухомих частин макету слід уважно стежити за макетом під час моментів руху, не відволікатись від виконання дії. Рекомендовано одній особі з бригади проводити експеримент, іншій - вести робочі записи.

Порядок виконання роботи та обробки результатів експерименту

1. У Звіт по роботі після запису коротких теоретичних відомостей записати номер приладу і вихідні дані:

$m = \dots$; $\alpha_{tw} = 20^\circ$; $d = \dots$ (див. зміст Звіту)

2. Паперову «заготовку» колеса, яка виконана з щільного паперу поділити на три рівних сектори та закріпити за допомогою шайби 9 і гвинта 10 на диску I, де вигравірувано діаметр заготовки (див. рис. 4.6).

Примітка: Розділивши «заготовку» на три частини, в процесі роботи моделюється нарізання трьох різних (по зміщенню) коліс на одній заготовці і після виконання роботи є можливість одночасно спостерігати і співставляти зовнішній вид і геометричні особливості нульового, додатнього і від'ємного коліс.

3. Повернувши важіль 6 приладу проти ходу годинникової стрілки, відвести рейку в крайнє праве положення. Поворотом важеля 11 проти годинникової стрілки послабити натяг струни 12, а поворотом диска I виставити один з секторів заготовки щодо рейки для викреслювання («виготовлення») на ньому двох-трьох зубців колес. Потім повернути важелі 6 і 11 за годинниковою стрілкою до упору. Після цього гостро відточеним олівцем обводити усі зубці рейки і їх частини, що з'являються в полі сектора. Поступальний рух рейки ліворуч на один крок здійснюється натисканням вниз важеля 5. В результаті зазначених операцій у секторі послідовно викреслюється два-три зубця колеса. При цьому рейка переміщується в крайнє ліве положення.

Для подальшої роботи – «нарізання» додатнього чи від'ємного колеса рейка знов відводиться в крайнє праве положення, а заготовка виставляється щодо рейки для викреслювання зубців в наступному секторі. У процесі роботи викреслюються спочатку зубці нульового колеса (перший сектор), потім додатнього (другий сектор) і від'ємного (третій сектор) коліс. - рис .4.7.

При викреслюванні зубців "додатнього" колеса рейка відсувається **від** заготовки на деяку відстань. Абсолютна величина цього зсуву визначається за формулою:

$$X = \chi m \quad (4.7)$$

де $\chi = \frac{17-Z}{17}$ - коефіцієнт відносного зміщення; (4.8)

$$z = \frac{d}{m} \text{ - число зубців колеса.} \quad (4.9)$$

При викреслюванні зубців " від'ємного " колеса рейка присувається **до** заготовки. При цьому величину цього зсуву обирають такою ж, як обчислена вище абсолютна величина зсуву "додатнього " колеса.

Примітки.

1. Зубці "нульового" колеса виходять з підрізом так як число зубців менше 17.
2. Зубці "додатнього " колеса виходять без підріза.
3. Зубці " від'ємного " колеса мають ще більший підріз, ніж зубці "нульового".
4. Обчислити значення діаметрів кіл верхівок і западин для трьох коліс (див. зміст Звіту). Потім викреслити кола зазначених діаметрів у відповідних секторах. З центру заготовки радіусами $\frac{d}{2}$ та $\frac{d_0}{2}$ провести ділильне та основне кола ($d_0 = d \cdot \cos \alpha_{wt}$, $\alpha_{tw} = 20^\circ$). Діаметри d і d_0 однакові для всіх трьох коліс.

5. Для всіх трьох коліс обчислити товщини зубців по дузі ділильного кола, а потім хордальні товщини зубців і занести їх у Звіт.

6. Для всіх трьох коліс виміряти хордальні товщини зубців і ширину западин по ділильному колу і порівняти їх з розрахунковими значеннями. Шляхом вимірювань на викреслених зубцях переконатися, що хордальна товщина зуба по ділильному колу додатнього колеса дорівнює хордальній ширині западин від'ємного колеса і навпаки.

Результати розрахунків та вимірювань занести у Звіт.

7. Зробити висновки за результатами роботи.

Оформлення Звіту

Звіт оформлюється на форматі А4 (див. зразок) і повинен містити:

- короткі теоретичні відомості, необхідні формули;
- порядок виконання роботи та заповнену таблицю обчислень та вимірів;
- аналіз отриманих результатів та основні висновки;

Зміст звіту

Форма звіту по роботі		Роботу виконали		Група	Роботу прийняли			
№ п/п		Вихідні дані						
		Визначення розмірів коліс						
		Нульове		Додатне		Від'ємне		
		Розрахункова формула	Розмір, мм Розрах ов. виміряний	Розрахункова формула	Розмір, мм Розрах ов. виміряний	Розрахункова формула	Розмір, мм Розрах ов. виміряний	
1	Крок зачеплення	$\rho = \pi \cdot m$						
2	Кількість зубців	$Z = \frac{d}{m}$						
3	Діаметр головного кола	$d_0 = d \cdot \cos \alpha_{wt}$						
4	Коефіцієнт зміщення інструментальної рейки	$x = \frac{17 - Z}{17}$						
5	Абсолютна величина зміщення	$X = x \cdot m$						
6	Діаметр кола вершин	$d_a = m \cdot (z + 2)$		$d_a = m \cdot (z + 2) + 2 \cdot X$		$d_a = m \cdot (z + 2) - 2 \cdot X$		
7	Діаметр кола западин	$d_f = m \cdot (z - 2,5)$		$d_f = m \cdot (z - 2,5) + 2 \cdot X$		$d_f = m \cdot (z - 2,5) - 2 \cdot X$		
8	Товщина зубця по дузі діляцького кола	$s = \frac{\pi \cdot m}{2}$		$s^N = \frac{\pi \cdot m}{2} + 2 \cdot X \cdot \operatorname{tg} \alpha_{wt}$		$s^o = \frac{\pi \cdot m}{2} - 2 \cdot X \cdot \operatorname{tg} \alpha_{wt}$		
9	Хордальна товщина зубця	$s_x = d \cdot \sin \frac{s}{d}$		$s_x^N = d \cdot \sin \frac{s^N}{d}$		$s_x^o = d \cdot \sin \frac{s^o}{d}$		
10	Хордальна ширина западин	$e_x = d \cdot \sin \frac{s}{d}$		$e_x^N = d \cdot \sin \frac{s^o}{d}$		$e_x^o = d \cdot \sin \frac{s^N}{d}$		

Примітка. В формули, що визначають геометричні параметри зубчастих коліс, підставляти абсолютні значення X і x. Індекси "0" і "П" в формулах для S і e відносяться відповідно до параметрів від'ємного і додатнього коліс.

Контрольні запитання

1. В чому полягає сутність різних методів нарізання зубчастих коліс?
2. Назвати основні геометричні розміри зубчастих коліс, формули для їх визначення.
3. В чому полягає мета контролю відхилень геометричних розмірів деталей, як впливають похибки виконання розмірів деталей на їх подальше використання ?
4. Що таке нульові зубчасті колеса колеса, колеса, нарізані зі зміщенням ?
5. Назвіть випадки, в яких слід застосовувати зубчасті колеса, нарізані зі зміщенням.

Рекомендована література

1. Заблонский К.И. «Детали машин» - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1985,- 518с.
2. Куркин В.И., Козинцов Б.П. «Детали механизмов радиоустройств.М., «Высш. школа», 1975, - 245с.
3. Первицкий Ю.Д. «Расчет и конструирование точных механизмов» - М. «Машиностроение», 1975
4. Ермолов И.Н. Останин Ю.Я. «Методы и средства неразрушающего контроля качества» , М.: Высш. Шк., 1988.-368с.

ДОДАТОК 4.1

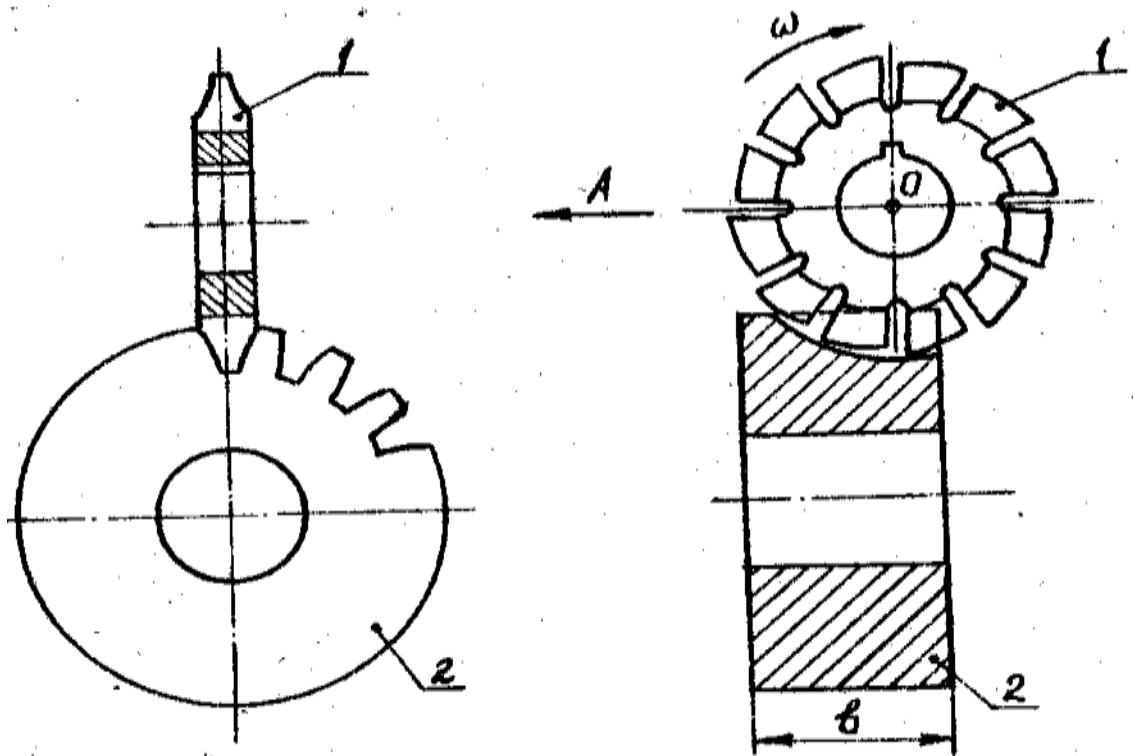


Рис. 4.1.

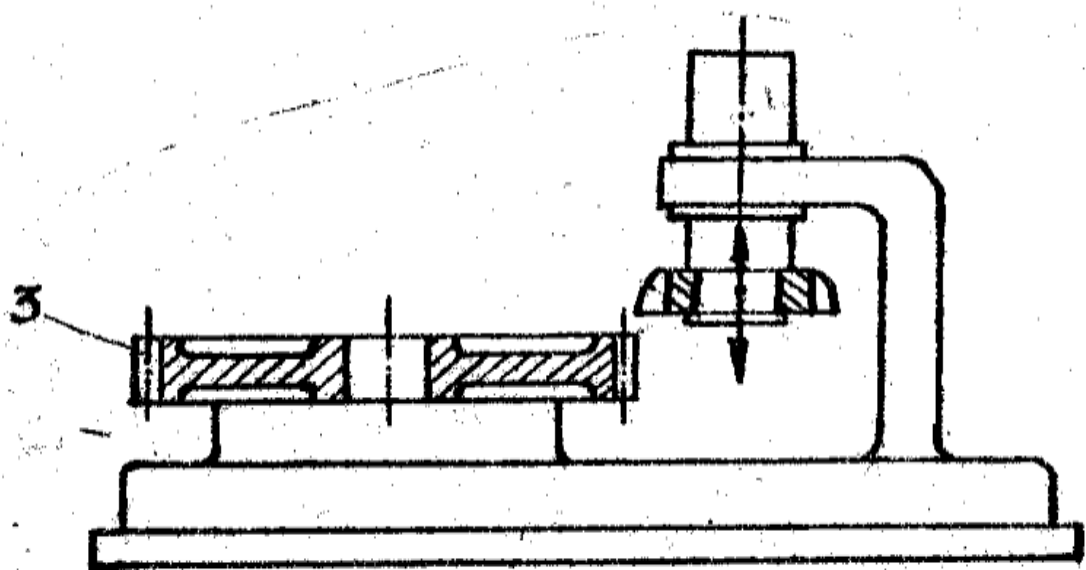


Рис. 4.2.

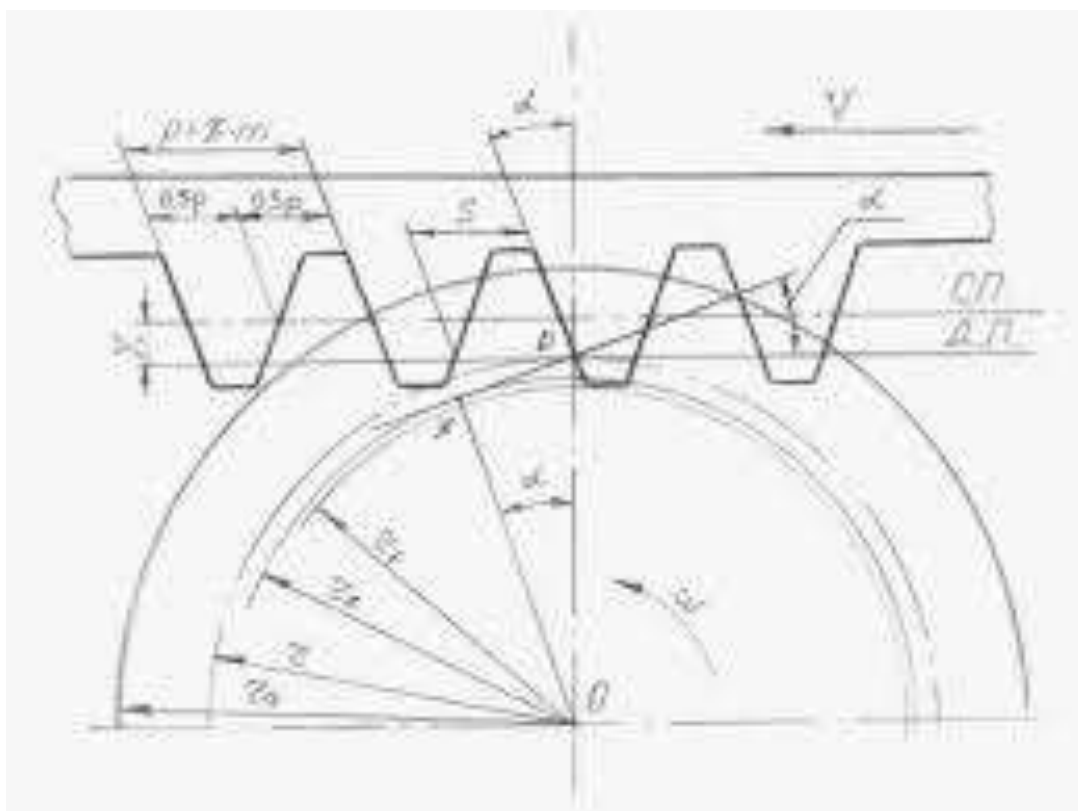


Рис. 4.3.

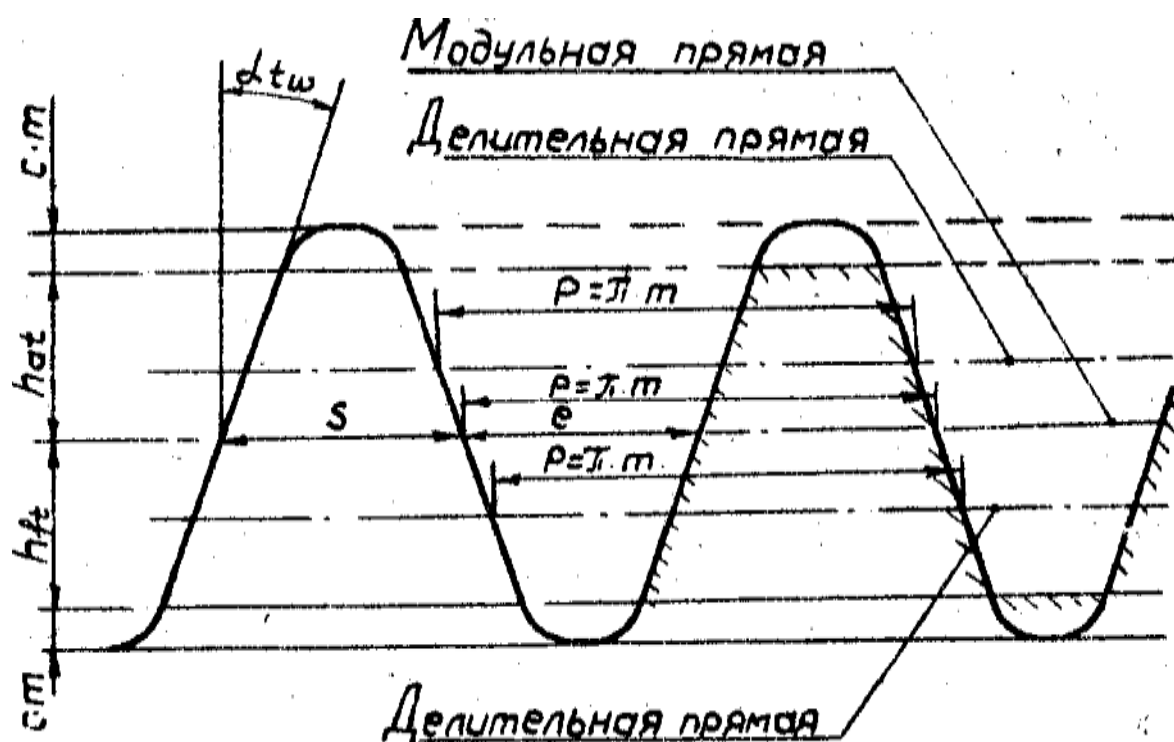


Рис. 4.4.

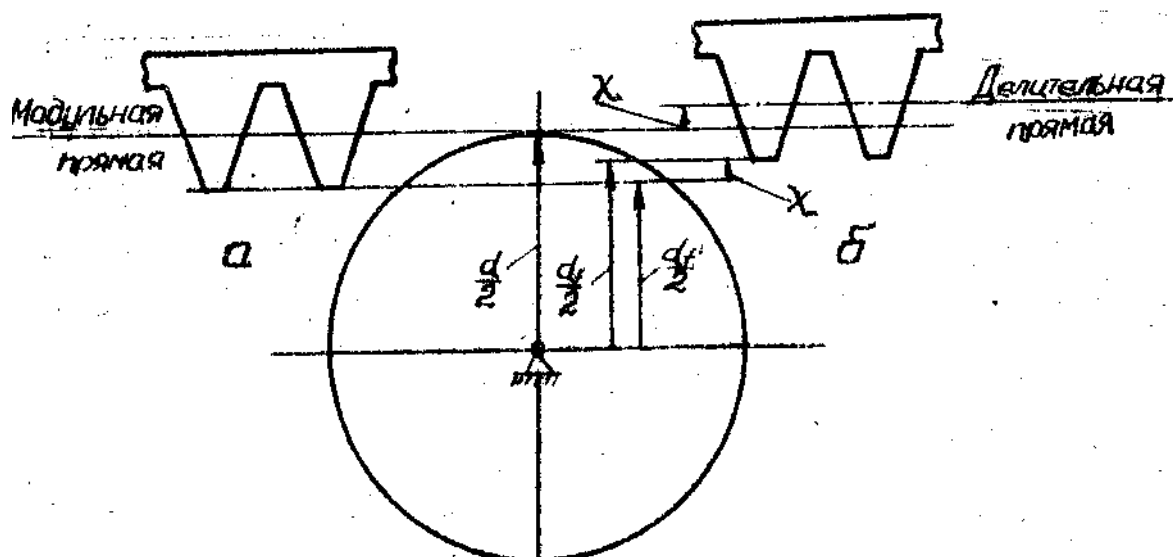


Рис. 4.5.

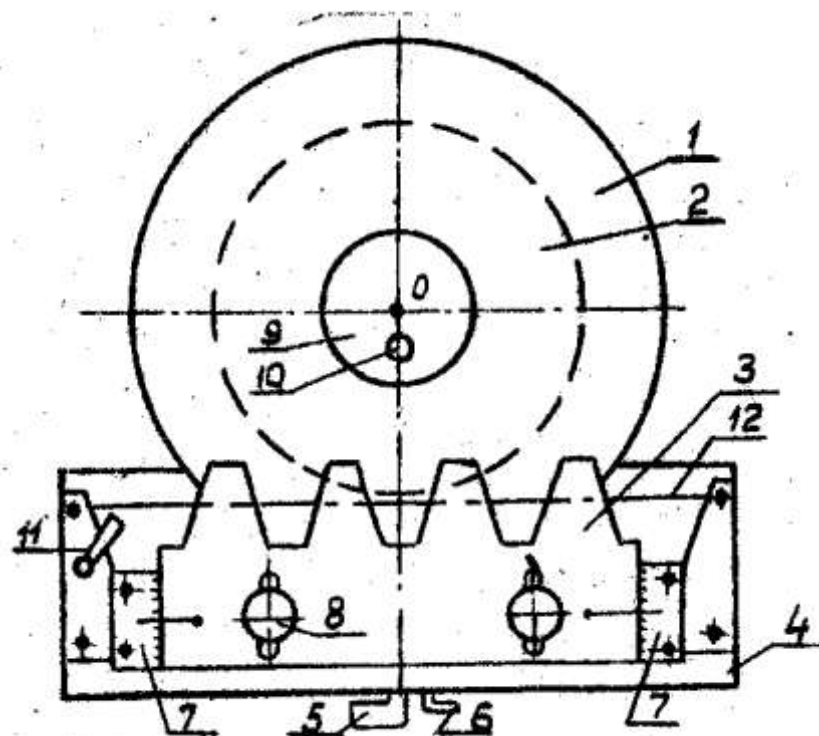


Рис. 4.6.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Визначення пружних характеристик гвинтових циліндричних пружин стиску й розтягування

Вступ

В системах неруйнівного контролю в різних механічних пристроях широко застосовуються пружні елементи. До них відносяться плоскі пружини, що часто використовують в якості контактних та запобіжних, фіксуючих елементів; виті циліндричні чи конічні пружини, застосовувані в якості амортизуючих, центруючих чи навіть вимірювальних елементів; плоскі чи гофрировані мембрани та мембранні коробки, а також просторові гофрировані пружні елементи – сільфони, які крім застосування в якості пружних елементів, можуть служити для ущільнення з'єднань (наприклад валів).

В цій лабораторній роботі пружні елементи (як деталі вузлів чи як об'єкти контролю), їх параметри і характеристики розглядаються на прикладі дослідження гвинтових циліндричних пружин.

Мета роботи

Ознайомитись з пружними елементами, їх характеристиками і параметрами на прикладі циліндричних гвинтових пружин.

Теоретичні відомості

Гвинтові циліндричні пружини стиснення й розтягування широко застосовуються в приладобудуванні для створення певних зусиль, накопичення механічної енергії, в якості амортизаторів та ін.

Основні достоїнства пружин: пропорційність зусиль деформації, що розвиваються в пружині, (пружини працюють на ділянці пружних деформацій діаграми розтягування, що відповідає закону Гука), їхня незалежність від положення в просторі.

Основні властивості й рекомендації із застосування матеріалів, з яких виготовляються пружини наведені в Табл. 5.1. Класифікація, методика

визначення розмірів й основні параметри пружин наведені в ГОСТ 13764-68. Подальший виклад ведеться з урахуванням цих стандартів. Див. Додаток 5.

Функціонування пружин визначається залежністю між силою P , що прикладається до пружини і деформацією F , якої вона при цьому зазнає:

$$P = f(F), \quad (5.1)$$

де P - сила пружини [н], F - деформація пружини, [мм]

Ця залежність - лінійна

$$P = z F \quad (5.2)$$

й аналітично виходить на підставі дослідження напруженого стану матеріала пружини з використанням методів опору матеріалів. Отже графічно характеристика ідеальної пружини являє собою похилу пряму.

Коефіцієнтом пропорційності в залежності 5.2 є **жорсткість пружини z** , що обчислюється за формулою:

$$z = \frac{G d^4}{8 D_0^3 n}, \quad (5.3)$$

де G - модуль пружності другого роду для матеріалу пружини [Мпа];

d та D_0 - діаметри відповідно дроту та середній діаметр пружини [мм]

n - кількість робочих витків пружини.

Графічно жорсткість пружини є тангенсом кута нахилу характеристики пружини.

Для зменшення впливу розкиду розмірів пружини й для одержання її еластичності в заданих межах (для зміни нахилу характеристики $P = f(F)$) пружини зазвичай використовують, згідно стандарту, пружини з **попередньою деформацією F_1** , що відповідає **попередній силі** пружини P_1 . Цих параметрів досягають ще на етапі виготовлення пружини. З умов міцності також призначаються **максимально допустимі значення сили P_3 й деформації F_3** для кожної конкретної пружини. Рекомендуються наступні співвідношення:

$$P_1 = (0,25 \div 0,3) P_3 \quad \text{і}$$

$$F_1 = (0,25 \div 0,3) F_3 . \quad (5.4)$$

Пружини розтягування і стиснення з попередньою деформацією показані на графіках (рис. 5.1 Додатку 5).

Фактично при дослідженні пружин мають місце такі явища, як **пружна післядія й пружний гістерезис** (рис 5.2 Додатку 5). Пружна післядія проявляється в тому, що після припинення її довантаження (тобто при сталому навантаженні) пружина якийсь час продовжує деформуватися (ділянки *AB* і *CO*). Пружний гістерезис проявляється в тому, що статичні характеристики пружини при збільшенні й зменшенні навантаження не збігаються (ділянки *OA* і *BC* відповідно) за рахунок наявності деякої залишкової деформації, спричиненою неідеальністю як самого матеріалу пружини так і технологічними причинами виготовлення пружного елемента.

Наслідком пружного гістерезису є похибка пружини, %:

$$\gamma_r = \frac{\Delta r}{F_3} \cdot 100 \quad (5.5)$$

Як правило, γ_r не перевищує (0,5 ÷ 1,5)% При експериментальному знятті статичної характеристики пружини γ_r підсумовується з похибками вимірювання.

При проектуванні пружин для визначення їхніх параметрів використовується методика, викладена в ГОСТ 13765-68, і результати розрахунків параметрів витків пружин, наведені в ГОСТ13766-68 – ГОСТ13776-68. Методика й табличні дані в наведених стандартах отримані на підставі розрахункових співвідношень, що описують напружений стан матеріалу пружини.

Вихідні величини при визначенні розмірів пружин:

P_1 - сила пружини при попередній деформації, [Н] ;

(в частковому випадку може бути прийнято $P_1=0$)

P_2 - сила пружини при робочій деформації, [н] ;

P_3 - максимально допустима сила пружини, [н],

h - робочий хід, [мм];

для пружини стиснення:

$$h = H_1 - H_2, \quad (5.6)$$

для пружини розтягнення:

$$h = H_2 - H_1 \quad (5.7)$$

Див. (рис. 5.1 Додатку 5);

Тут H_1 , H_2 , H_3 – висота пружини відповідно при попередній, робочій та максимально допустимій деформації; [мм];

H_0 - висота пружини у вільному стані; [мм];

D - зовнішній діаметр пружини, [мм];

При лабораторному дослідженні пружин прямим виміром визначають розміри пружин D , d , H_0 - висоту пружини у вільному стані й n - число робочих витків. Далі, використовуючи методика ГОСТ 13765-68, розраховують інші параметри пружин.

Таблиця 5.1

Матеріал	Механічні властивості			Рекомендації із застосування
	$[\sigma_{\text{розт}}]$	$[\tau]$	G	
Дріт класів 1 й 2 за ГОСТ 9389-75	200	60	$0,83 \cdot 10^4$	Пружини загального призначення
Сталь 65	100	50	$0,83 \cdot 10^4$	
Сталь 70	105	50	$0,83 \cdot 10^4$	
Сталь 55M	115	50	$0,83 \cdot 10^4$	
Сталь 65M	100	50	$0,83 \cdot 10^4$	
Сталь 60СДХА Сталь 50ХФА	180	56	$0,8 \cdot 10^4$	Пружини особливо відповідального призначення, що працюють при температурах від -40° до $+400^{\circ}\text{C}$ при змінних навантаженнях
Бронза БрОЦ4-3	$80 \div 90$	40	$0,4 \cdot 10^4$	Пружини, що працюють у магнітних полях, вологій атмосфері, воді й парі при температурах від -40° до $+200^{\circ}\text{C}$
Бронза БрКМц-1	$65 \div 70$	45	$0,4 \cdot 10^4$	

У приладобудуванні застосовують в основному пружини з порівняно невеликими величинами навантажень P (від одиниць н'ютонів до одиниць кілон'ютонів). Відповідно до ГОСТ 13764-68 такі пружини віднесені до I й II розряду I класу.

Порядок вибору пружини:

1. По значенням D і d , або ходу пружини h (задаються, як правило, з конструктивних міркувань) використовуючи ГОСТ 13766-68 або

ГОСТ 13767-68, визначають параметри: максимально допустиме навантаження - P_3 , [Н]; найбільший прогин одного витка - f_3 , [мм];

z_1 - жорсткість одного витка, [Н/мм].

2. Визначають жорсткість пружини:

$$z = \frac{z_1}{n} \quad (5.8)$$

(при обраній кількості витків пружини – n)

3. визначають $F_3 = \frac{P_3}{z}$. (5.9)

4. визначають силу пружини при робочій деформації за формулою:

$$P_2 = P_3(1 - \delta), \quad (5.10)$$

де δ - відносний інерційний зазор.

для пружин стиснення I й II класів $\delta = 0,05 \div 0,25$;

для пружини розтягнення $\delta = 0,05 \div 0,1$

5. визначають робочу деформацію

$$F_2 = \frac{P_2}{z}, \quad (5.11)$$

а також P_1 і F_1 .

Цих даних достатньо для підготовки й проведення експериментального дослідження готової пружини.

Примітка: часто з конструктивних міркувань задають хід пружини h (робоче переміщення) і $P_1 = 0$, тоді жорсткість можна визначити:

$$z = \frac{P_2 - P_1}{h}, \quad (5.12)$$

а потім підібрати кількість витків: робочих - n

і повну кількість- $n_{\text{повн}} = n_{\text{роб}} + 2$

Для експериментального зняття статичної характеристики на спеціальному обладнанні навантажують пружину силою в межах від

мінімального значення P до розрахункового значення P_2 й вимірюють отриману деформацію для декількох значень P_1 .

Опис експериментальної установки

Застосовуване при виконанні лабораторної роботи обладнання являє собою пристрій зі змонтованим на ньому вимірювачем деформації (точністю 0,01 мм), закріпленою (змінною) досліджуваною пружиною з можливістю її дозованого навантаження і дзеркальної шкали для уникнення похибки від параллакса при вимірюванні деформації елемента.

Порядок виконання роботи

1. Наданим інструментом обміряти геометричні розміри досліджуваної пружини. Занотувати їх в Звіті.

2. Зробити теоретичні розрахунки:

а) У ГОСТі 13766-68 або ГОСТі 13767-68 відшукати рядок з пружиною, у якої зовнішній діаметр D і діаметр дроту d найбільш близько збігаються з обміреними значеннями. Із цього рядка виписати значення P_3 , f_3 , z_1 .

б) Визначити $z = \frac{z_1}{n}$.

в) Визначити $F_3 = \frac{P_3}{z}$.

г) Визначити $P_2 = P_3(1 - \delta)$.

д) Визначити $F_2 = \frac{P_2}{z}$.

е) Визначити $P_1 = (0,25 \div 0,3) P_3$ і $F_1 = P_1 / z$.

В лабораторних умовах можна прийняти $P_I = 0$

ж) За розрахованими значеннями P_3 і F_3 побудувати аналітичну характеристику $P = f(F)$.

3. Практичне дослідження:

3.1 Для запропоновані Викладачем пружини, її діапазон значень сил навантаження (від 0 до P_2) рівномірно розподілити на п'ять інтервалів. Отримані значення сил P_i використати при навантаженні пружини, користуючись наданим комплектом гирь і вимірюючи приладом відповідні кожному значенню P_i значення деформації F_i . Дослідження повторити три рази при навантаженні пружини і розвантаженні. Результати всіх вимірів та усереднені для всіх дослідів значення деформацій при навантаженні і розвантаженні **окремо** занести в Табл. 5.2.

3.2 Побудувати графік експериментальної статичної характеристики $P = f(F)$ згідно **усереднених** даних (для навантаження і розвантаження **окремо**).

3.3 По отриманій залежності визначити максимальну похибку пружини від пружного гістерезису. (форм.5.5)

$$\gamma_r = \frac{\Delta r}{F_3} \cdot 100\%$$

3.4 За отриманими експериментальними даними побудувати на тій же координатній сітці графіки експериментальної статичної характеристики $P = f(F)$ **відповідно кожному з дослідів** при навантаженні та розвантаженні пружини.

3.4 Визначити значення відносної похибки характеристики пружини для кожного з 3 досліджень пружини, порівнюючи однакові значення деформацій з відповідними їх значеннями усередненої статичної характеристики (в 4 - 5 точках). Усереднити значення відносної похибки для **кожного** з досліджень при навантаженні та розвантаженні та на самкінець визначити середнє значення відносної похибки характеристики пружини. Результати занести до Табл.5.3.

4. Зробити висновки по роботі.

Оформлення Звіту

Звіт оформлюється на форматі A4 і повинен містити:

1. Мету роботи

2 Теоретичні відомості, принципову схему установки, основні розрахункові формули.

3. Дані макета (ціну поділок шкал, діапазон вимірювання)

4. Результати вимірів геометричних параметрів пружини

$$D = \quad d = \quad H_0 = \quad h =$$

5. Заповнені таблиці Табл. 5.2 та 5.3.

Табл. 5.2

Номери точок	1	2	3	4	5
Дослідження 1 .Навантажування Р-сила; (н); F -деформ.(мм)	P1	P2	P3	P4	P5
	F1 F5				
Розвантажування	P1	P2	P3	P4	P5
	F1..... F5				
Дослідження 2 .Навантажування	P1	P2	P3	P4	P5
	F1..... F5.				
Розвантажування	P1	P2	P3	P4	P5
	F1.....F5.				
Дослідження 3 Навантажування	P1	P2	P3	P4	P5
	F1..... F5				
Розвантажування	P1	P2	P3	P4	P5
	F1..... F5				
Усереднені за 3 дослідні цикли значення деформ.	F1 _{навант} F5				
	F1 _{розв} F5				

Табл.5.3.

Значення відносної похибки	1	2	3	4	5
Дослідження 1
Навантажування
Розвантажування					
Дослідження 2
Навантажування
Розвантажування					
Дослідження 3
Навантажування
Розвантажування					
Дослідження 1					
Усереднене значення відносної похибки
Дослідження 2					
Усереднене значення відносної похибки
Дослідження 3					
Усереднене значення відносної похибки
Усереднене значення відносної похибки
Середнє значення відносної похибки характеристики пружини.					

6 Необхідні графіки (на одній координатній сітці)

7. Висновки по роботі.

Контрольні запитання

1. Види пружних елементів й області їх застосування.
2. Назвати основні параметри пружних елементів.

3. Що таке жорсткість пружини?
4. Які види деформації виникають у матеріалі звитої циліндричної пружини розтягування - стиснення?
5. Що таке механічний гістерезис? Назвіть причини його виникнення.

Рекомендована література

1. Іванов М.Н. Деталі машин.-М.: Высш. шк., 1976.-399 с.
2. Пружини гвинтові циліндричні стиску й розтягу зі сталі круглого перерізу. ГОСТ 13764-68 – ГОСТ 13576-68, - М.
3. Самохвалов Я.А., Левицкий М.Я., Григораш В.Д. Довідник техника-конструктора. - Київ: Техніка, 1978.-692 с.

ДОДАТОК 5

Пружина розтягування

Пружина стиснення

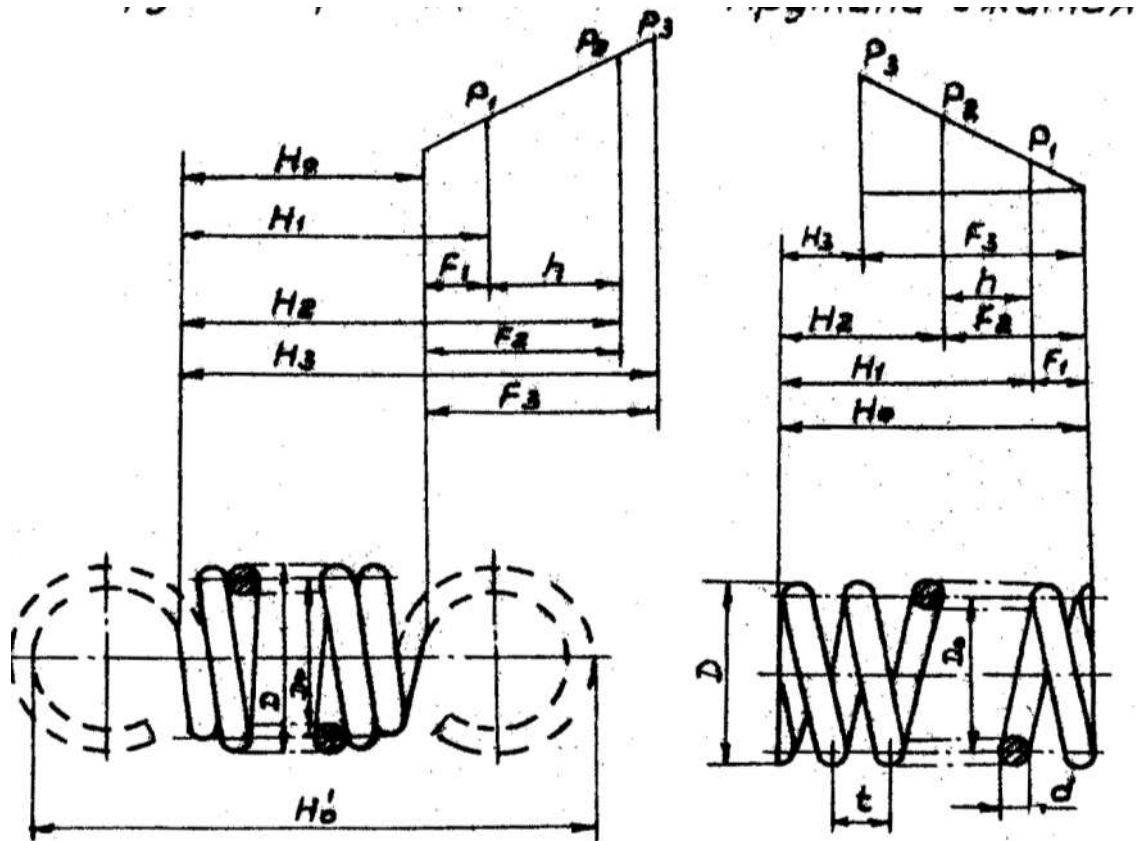


Рис. 5.1

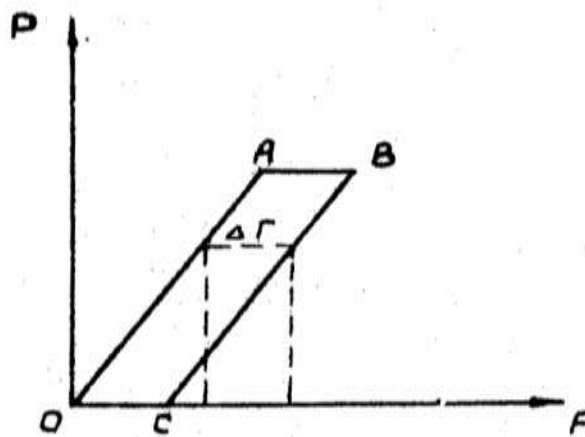


Рис. 5.2

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Кінематика складних зубчастих передач

Вступ

Зубчасті передачі різних видів широко застосовуються в системах і приладах НК в якості пристроїв передачі і перетворення руху для різних цілей. Вони є основною частиною електроприводів, що рухають об'єкти контролю чи блоки перетворювачів і від точності виготовлення, складання і функціонування цих допоміжних вузлів залежить і якість процедури контролю.

Мета роботи

Ознайомитися з різними типами зубчастих передач, визначити їх кінематичні параметри.

Теоретичні відомості

Передаточним відношенням називається співвідношення кутових швидкостей двох будь-яких ланок механізму; воно позначається літерою “ i ” з відповідним індексом. На рис.6.1 (див. Додаток 6) зображена кінематична схема найпростішого механізму, що складається з двох зубчастих коліс. Передаточне відношення для цього механізму:

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (6.1)$$

де ω_1 , ω_2 - відповідно кутові швидкості першого і другого коліс. Індекс при i_{12} вказує, в якому напрямку визначається передаточне відношення.

Так як кутові швидкості пропорційні частотам обертання n (об / хв), формулу (6.1) можна написати у вигляді:

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2}$$

Розглянемо формули для визначення передаточних відношень простих зубчастих передач.

Циліндрична зубчаста передача (рис. 6.1 и 6.2)

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad (6.2)$$

де z_1, z_2 - відповідно кількість зубців першого (ведучого) і другого (веденого) зубчастих коліс. В передачах с паралельними осями передаточному відношенню приписують знак в залежності від напрямку кутових швидкостей зубчастих коліс. При зовнішньому зачепленні (рис.6.1) кутові швидкості коліс мають різні напрямки, отже, передаточне відношення від'ємне, тобто

$$i_{12} = -\frac{z_2}{z_1} \quad (6.3)$$

При внутрішньому зачепленні (рис.6.2) кутові швидкості зубчастих коліс мають однакові напрямки і тому передаточне відношення в цьому випадку додатне, тобто

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad (6.4)$$

Конічна зубчаста передача (рис.6.3 и 6.4)

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad (6.5)$$

Черв'ячна передача (рис. 6.5)

Черв'ячна передача відноситься до зубчасто-гвинтових передач. Вона складається з черв'яка 1, що представляє собою гвинт з трапецеїдальною різьбою і гвинтового колеса 2, яке називається черв'ячним колесом.

Передаточне відношення черв'ячної передачі визначається за формулою

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad (6.6)$$

де z_2 - число зубців черв'ячного колеса; z_1 - число заходів черв'яка

Кількість заходів черв'яка відповідає числу гвинтових ліній. Так як кожна гвинтова лінія виходить на торець, то число заходів зручно визначати з торцової поверхні черв'яка. В залежності від числа заходів черв'як згідно стандартам буває одно- двох- або чотирьохзаходним.

Рейкова передача (рис. 6.6)

Рейкові передачі застосовуються для перетворення обертового руху в поступальний і навпаки. Рейкова передача складається з зубчастого колеса 1 і рейки 2. Зубчаста рейка може здійснювати тільки зворотньо-поступальний рух. Передаточне відношення рейкової передачі $i_{12} = \infty$

Складні зубчасті передачі (рис 6.7- рис.6.15)

Зубчасту передачу, до складу якої входить більше двох зубчастих коліс, називають складною зубчастою передачею.

Складні зубчасті передачі можна розділити на дві групи. До першої відносяться передачі з нерухомими в просторі геометричними осями зубчастих коліс. До другої – передачі, у яких одне або декілька коліс мають складний просторовий рух. Тобто їх геометричні осі рухаються (переміщуються в

просторі). Це планетарні і диференціальні передачі. Розглянемо кінематику першої і другої групи.

Складні зубчасті передачі з нерухомими геометричними осями

Розрізняють рядне з'єднання зубчастих коліс, коли на кожному валі знаходиться лише по одному колесу (рис. 6.7) і ступінчасте з'єднання, коли на ведучому і вихідному валах встановлено по одному колесу, а на проміжних – по два (рис.6.8).

Кінематика складного рядного з'єднання (рис. 6.7)

Спільне передаточне відношення рядного з'єднання зубчастих коліс визначається за формулою (без урахування напрямку руху)

$$i_{cn} = i_{14} = \frac{\omega_1}{\omega_4} = i_{12} \cdot i_{23} \cdot i_{34} \quad (6.7)$$

де

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad i_{23} = \frac{\omega_2}{\omega_3} = \frac{z_3}{z_2} \quad i_{34} = \frac{\omega_3}{\omega_4} = \frac{z_4}{z_3} \quad (6.8)$$

з урахуванням формули (6.8) вираз (6.7) матиме вид:

$$i_{cn} = i_{14} = \frac{\omega_1}{\omega_4} = i_{12} \cdot i_{23} \cdot i_{34} = \frac{z_4}{z_1} \quad (6.9)$$

при n колесах

$$i_{cn} = i_{1n} = \frac{\omega_1}{\omega_n} = i_{12} \cdot i_{23} \cdot \dots \cdot i_{(n-1)n} = \frac{z_n}{z_1} \quad (6.10)$$

З формул (6.9) і (6.10) випливає, що в рядному з'єднанні кількість зубців проміжних коліс не впливає на абсолютну величину передаточного відношення. Ці колеса називаються "паразитними". Рядне з'єднання дає можливість отримати потрібний напрямок обертання вихідного колеса або ж здійснити передачу руху на деяку відстань.

Кінематика ступінчастого з'єднання зубчастих коліс (рис.6.8)

Спільне передаточне відношення ступінчастого з'єднання зубчастих коліс визначається за формулою

$$i_{cn} = i_{16} = \frac{\omega_1}{\omega_6} = i_{12} i_{2'3} i_{3'4} i_{4'5} i_{5'6} \quad (6.11)$$

де

$$I_{12} = \frac{z_2}{z_1}, I_{2'3} = \frac{z_3}{z_{2'}}, I_{3'4} = \frac{z_4}{z_{3'}}, I_{4'5} = \frac{z_5}{z_{4'}} \quad (6.12)$$

з урахуванням (6.12) формула (6. 11) набуває вигляду

$$i_{cn} = i_{16} = \frac{\omega_1}{\omega_6} = i_{12} i_{2'3} i_{3'4} i_{4'5} i_{5'6} = \frac{z_2 z_3 z_4 z_5 z_6}{z_1 z_{2'} z_{3'} z_{4'} z_{5'}} \quad (6.13)$$

Ця передача складається з п'яти ступенів (зачеплень). Перше зачеплення - колеса 1 і 2; друге - колеса 2 'та 3; третє зачеплення - колеса 3' і 4; четверте - колеса 4 'та 5, п'яте зачеплення - колеса 5' та 6. При n колесах передаточне відношення для ступінчастого з'єднання зубчастих коліс розраховується за виразом

$$i_{cn} = i_{1n} = \frac{\omega_1}{\omega_n} = i_{12} i_{23} \dots i_{(n-1)'n} = \frac{z_2 z_3 \dots z_n}{z_1 z_{2'} z_{(n-1)'}} \quad (6.14)$$

В разі необхідності можна визначити напрямки обертання ведених коліс в залежності від напрямку обертання ведучого колеса. У загальному випадку напрямок обертання будь-якого колеса у складної зубчастої передачі може бути знайдено за правилом стрілок. За допомогою правила стрілок можна визначити напрямки обертання зубчастих коліс і для передач, зображених на рис.6.7 і рис.6.8.

Визначення знака спільного передаточного відношення

Якщо напрям обертання веденого вихідного колеса співпадає з напрямом обертання ведучого, то спільному передаточному відношенню i_{1n} надають знак «плюс». При протилежних напрямках кутових швидкостей ведучого і веденого (чи вихідного) коліс - знак «мінус». Наприклад, спільні передаточні відношення передач, зображених на рис.6.7 і 6.8, - від'ємні, оскільки кутові швидкості ведучих і ведених коліс протилежні (напрямки стрілок на ведучих і ведених колесах різні). У складних зубчастих передачах, у яких осі обертання всіх коліс паралельні, знак загального передаточного відношення можна визначити за допомогою формул:

для рядного з'єднання зубчастих коліс;

$$i_{1n} = \frac{\omega_1}{\omega_n} = (-1)^m i_{12} i_{23} \dots i_{(n-1)'n} = (-1)^m \frac{z_n}{z_1} \quad (6.15)$$

для ступінчастого з'єднання:

$$i_{1n} = \frac{\omega_1}{\omega_n} = (-1)^m i_{12} i_{23} \dots i_{(n-1)'n} = (-1)^m \frac{z_2 z_3 \dots z_n}{z_1 z_2' z_{(n-1)'}} \quad (6.16)$$

де m - число зовнішніх зачеплень.

Планетарні та диференціальні передачі

Як зазначалося раніше, до планетарних і диференціальних передач відносяться передачі, у яких одне або кілька зубчастих коліс мають рухомі в просторі геометричні осі.

У диференціальних передачах **всі** зубчасті колеса рухомі (рис.6.10), а в планетарних передачах (рис.6.11, 6.12) **одне** з коліс нерухоме (колеса 3 планетарних передач, зображених на рис.6.11; 6.12, нерухомі). Розрізняють двохступінчасті планетарні передачі (рис.6.11) та одноступінчасті (рис.6.12).

Розглянемо елементи, що входять до складу планетарних та

диференціальних передач (рис.6.10- 6.12). Зубчасті колеса, геометричні осі яких нерухомі і знаходяться на одній прямій, називаються центральними або сонячними (колеса І і 3). Зубчасті колеса, геометричні осі яких рухомі, (колеса здійснюють складний рух в просторі), називаються сателітами.

Планетарні та диференціальні передачі виконуються з кількома сателітами, розміщеними рівномірно навколо центральних коліс. Це робиться для урівноваження сил інерції, зменшення навантаження на зубчасті колеса, а також розвантаження валів і підшипників. У свою чергу, це дозволяє зменшити габарити передач. Ланка Н, що утримує на собі рухоме з'єднання сателітів, називається водилом. Геометрична ось обертання водила збігається з осями обертання центральних коліс. Часто саме водило є вихідною ланкою передачі.

Відмітимо різницю в кінематиці диференціальних і планетарних передач. На рис.6.10 зображена схема диференціала з **двома** ступіннями рухливості. Це означає, що для отримання певного руху на виході механізму, він повинен мати **дві** ведучих ланки. Ведучими ланками можуть бути, наприклад, колеса І і 3, тоді веденим буде водило Н; можливі й інші комбінації: ведучі - колесо І і водило Н, ведене колесо - 3 і т.д. Такі передачі можна використовувати для алгебраїчного підсумовування різних швидкостей (або фізичних параметрів, що призводяться до швидкостей).

Планетарні передачі мають **одну** ступінь рухливості: тобто для визначеності руху вихідної ланки планетарний механізм повинен мати **одну** ведучу ланку. Ведучими ланками планетарних передач, зображених на рис.6.12, 6.13, можуть бути колеса І або водило Н.

Кінематика диференціальних та планетарних передач

Існує кілька методів кінематичного розрахунку диференціальних і планетарних передач. Найбільше поширення отримав метод «обернення руху». Сутність методу «обернення руху» описана у відповідній навчальній літературі та [Л.5,Л. 6]. У приладобудуванні та машинобудуванні зустрічаються складні зубчасті механізми, до складу яких можуть входити і

звичайні зубчасті, і планетарні або диференціальні передачі. На рис. 6.15 представлений зубчастий механізм, що складається з однієї звичайної передачі з внутрішнім зачепленням і двох планетарних передач. Спільне передаточне відношення цього механізму визначиться добутком передаточних відношень окремих його ступенів. Для цього необхідно розкласти складний зубчастий механізм на окремі ступені і виділити планетарні передачі (планетарні ступені). При цьому слід пам'ятати, що в планетарну передачу входить водило, сателіти і два центральних колеса.

Для цього складного механізму спільне передаточне відношення визначаємо з виразу:

$$i_{cn} = i_{12} \cdot i_{2'H} \cdot i_{5'H} \quad (6.17)$$

Заходи безпеки під час виконання лабораторної роботи

Крім власної уважності при роботі з настольним макетом, особливих заходів безпеки не потрібно.

Порядок виконання роботи

1. Оглянути видані макети; визначити вид передач і їх складові.
2. Скласти кінематичні схеми виданих макетів складних зубчастих передач згідно з ГОСТ 2703-68.
3. Пронумерувати зубчасті колеса передач, починаючи з ведучого колеса.
4. Підрахувати кількість зубців коліс і записати їх в таблицю 6. 1 (див. зміст Звіту).

Примітка: якщо до складу складного зубчатого механізму входить черв'ячна передача, для черв'яка визначається кількість заходів.

5. Розподілити механізм на ступені. Обчислити передаточне відношення кожного ступеня. Визначити спільне передаточне відношення складної зубчастої передачі. Записати значення передаточних відношень в таблицю 6.2 Звіту.

Оформлення Звіту

Звіт роботи оформлюється на форматі А4 і повинен містити:

1. Мету роботи
2. Теоретичні відомості
3. Розрахунок передаточних відношень наданих макетів механізмів
4. Кінематичні схеми наданих макетів механізмів, виконані згідно стандартів на форматі А4. (Див. Додаток 6, рис.6.16)
5. Таблиці даних та розрахунків

Табл.6.1

Номер колеса	Кількість зубців
--------------	------------------

Таблиця 6.2. передаточні відношення окремих ступенів механізма

Номер ступеню	Позначення передаточного відношення	Формула, розрахунок
1		
2		
3		
4		

6. Спільне передаточне відношення механізма:

Контрольні запитання

1. Що таке кінематична схема механізма?
2. Які види передаточних механізмів вам відомі?
3. Назвіть види відомих вам передач.

4. Що собою являють планетарні та диференціальні передачі?
5. Що таке передаточне відношення?
6. Як визначити передаточні відношення для зубчастих передач, у яких геометричні осі зубчастих коліс нерухомі?
7. Як визначити передаточні відношення для планетарних та диференціальних передач?

Рекомендована література

1. Заблонский К.И. «Детали машин» - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1985,- 518с.
2. Куркин В.И., Козинцов Б.П. «Детали механизмов радиоустройств.М., «Высш. школа», 1975, - 245с.
3. Первицкий Ю.Д. «Расчет и конструирование точных механизмов» - М. «Машиностроение», 1975
4. Ермолов И.Н. Останин Ю.Я. «Методы и средства неразрушающего контроля качества» , М.: Высш. Шк., 1988.-368с.
5. Методичні вказівки до виконання МКР з дисципліни «Прикладна механіка» Електронне видання Укл. Павленко Ж.О. К. НТУУ «КПІ», 2012р.
6. Методичні вказівки до виконання МКР з дисципліни «Прикладна механіка» Електронне видання Укл. Павленко Ж.О. К. НТУУ «КПІ», 2013р.

ДОДАТОК 6

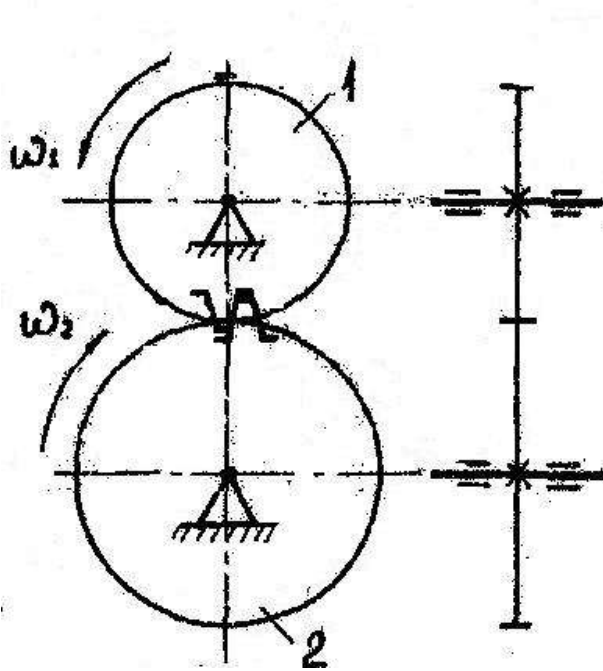


Рис. 6.1

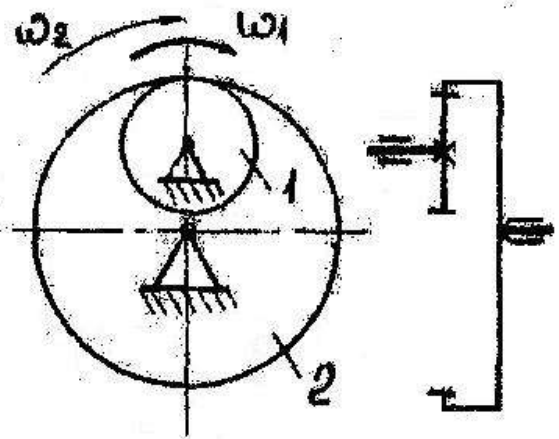


Рис. 6.2

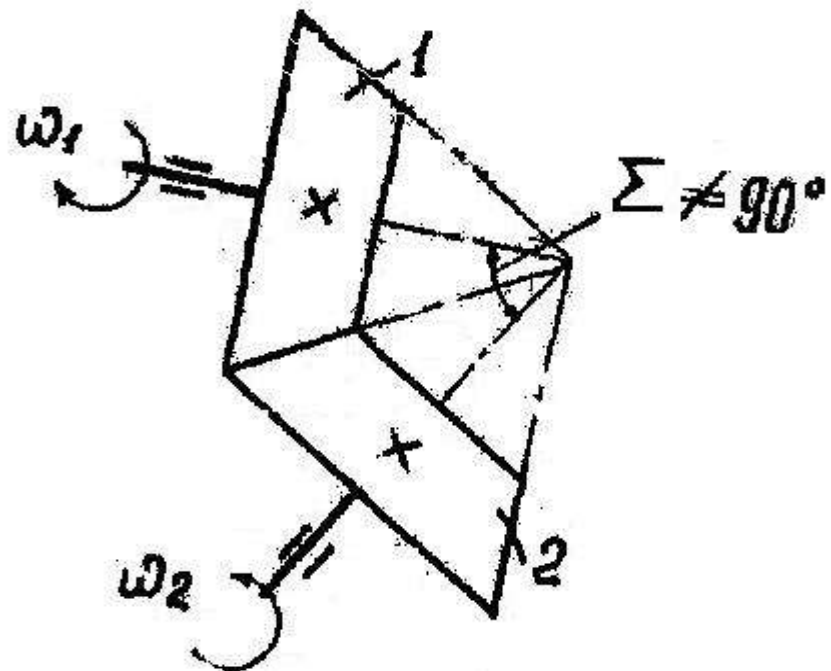


Рис. 6.3

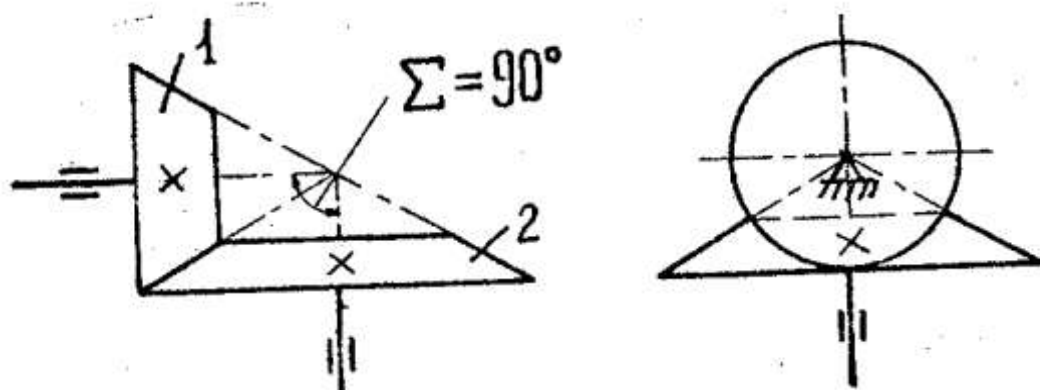


Рис. 6.4

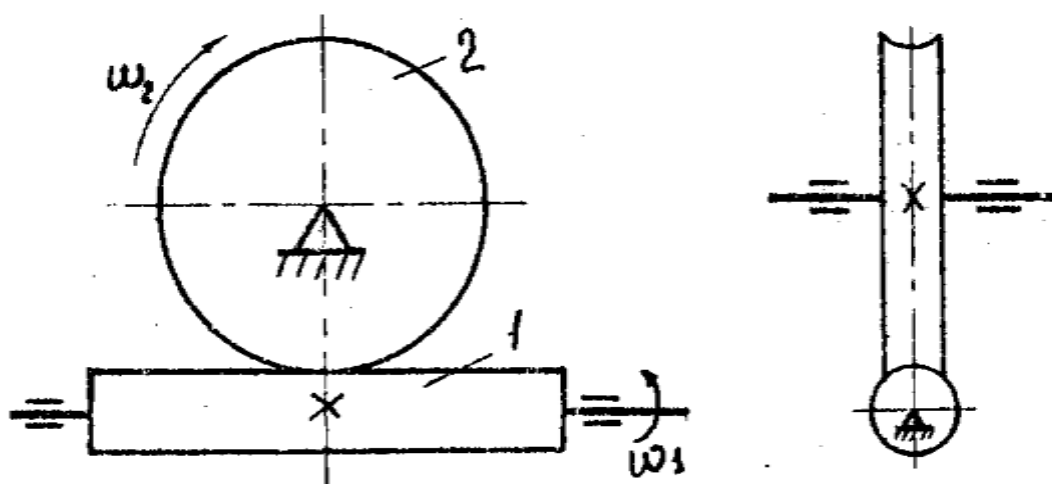


Рис. 6.5

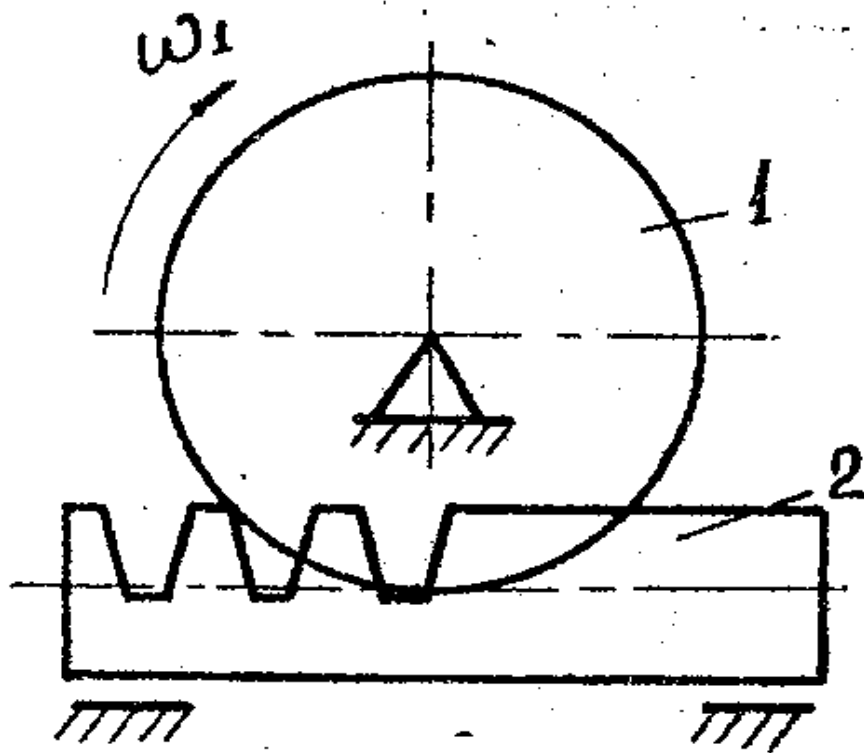


Рис. 6.6

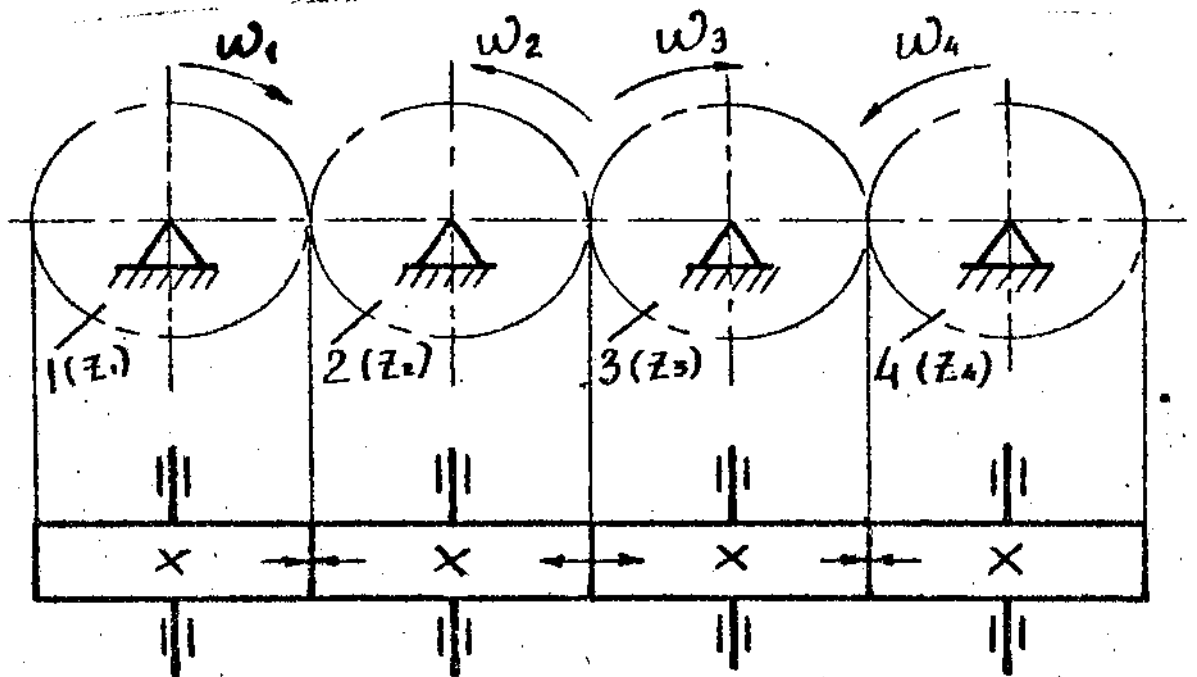


Рис. 6.7

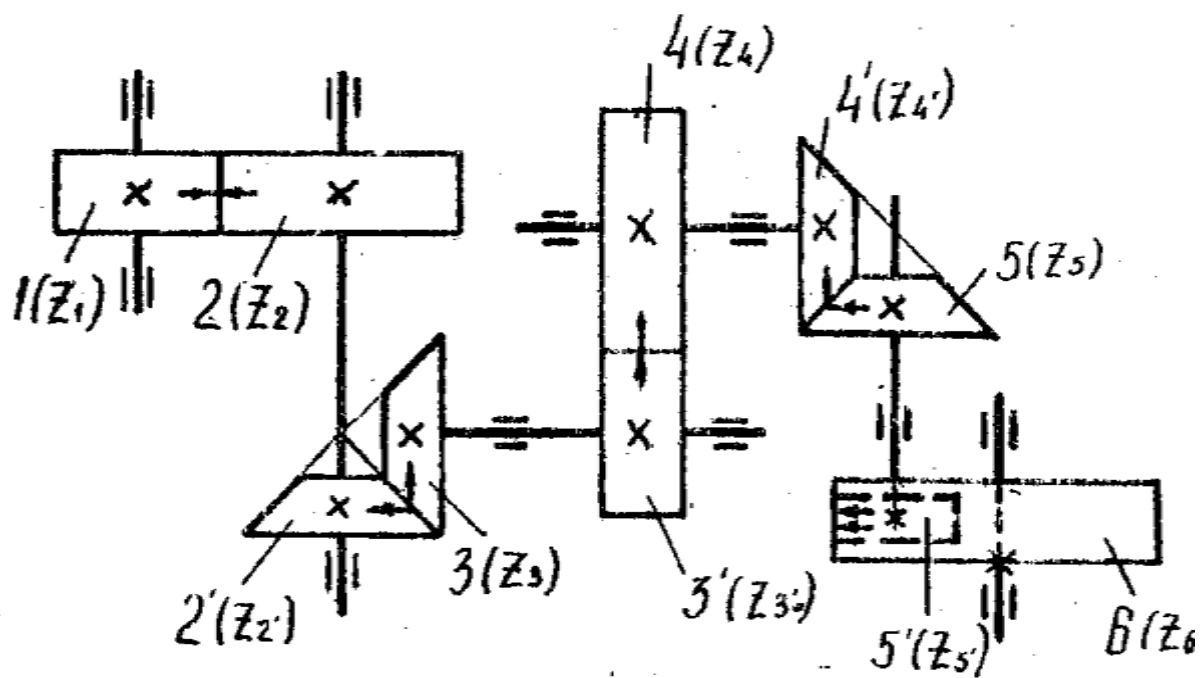


Рис. 6.8

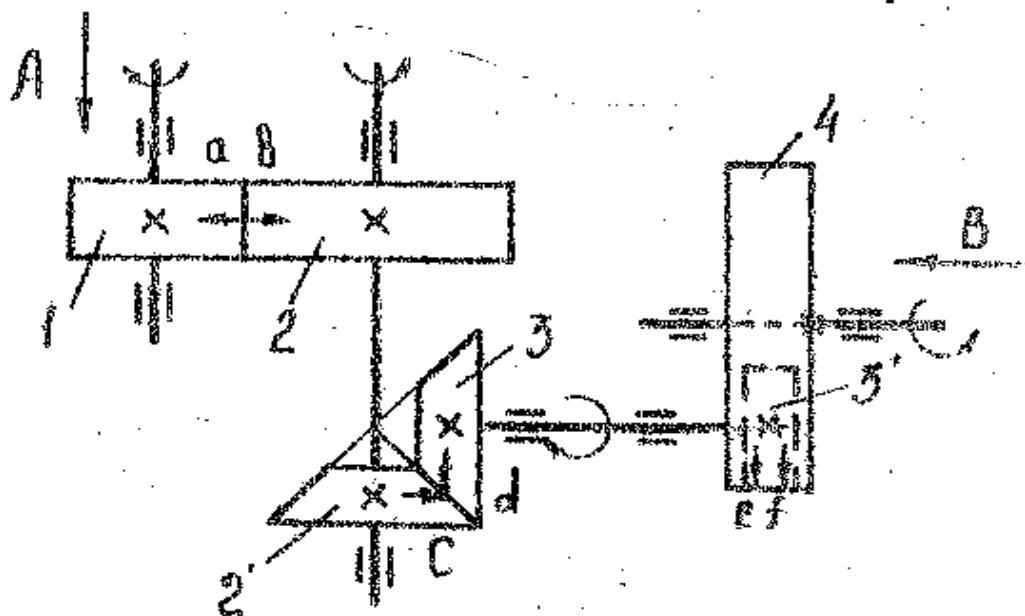


Рис. 6.9

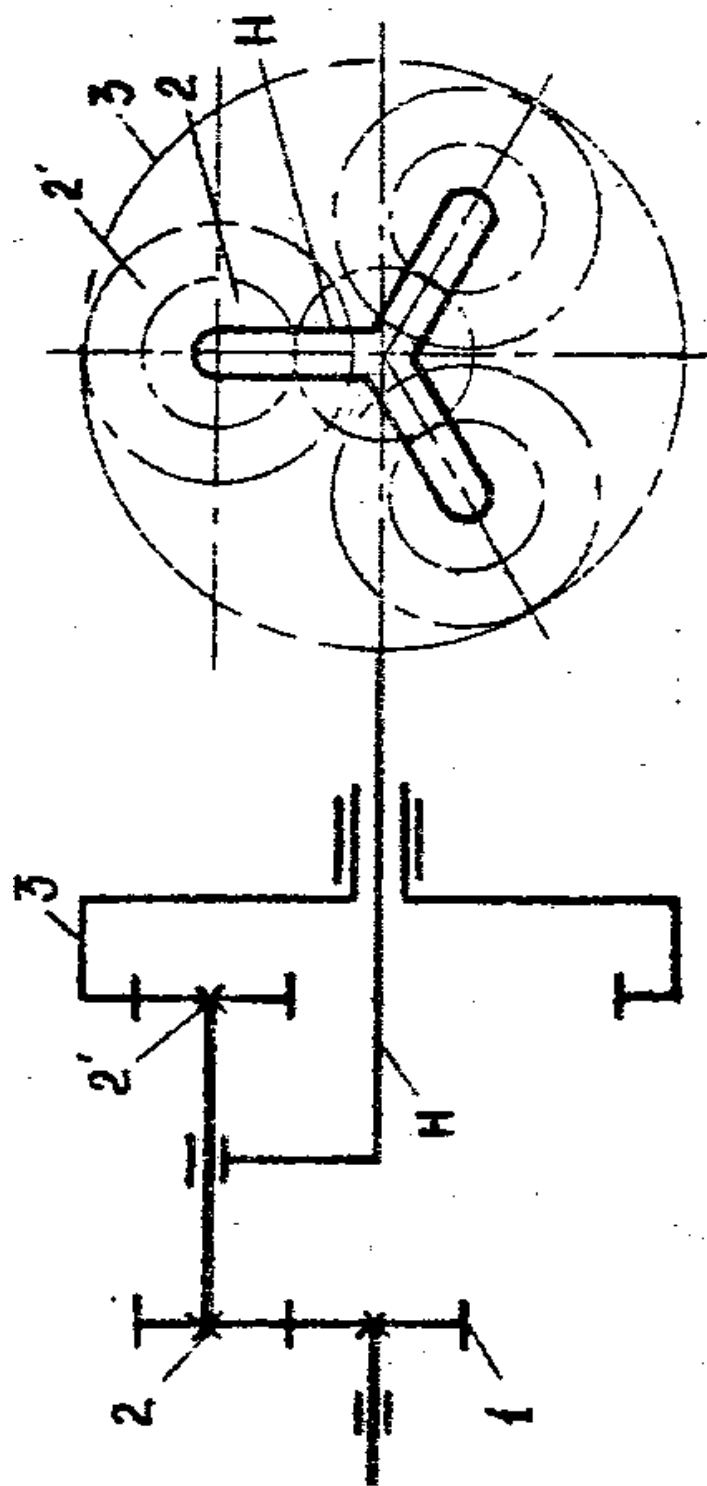


Рис 6.10

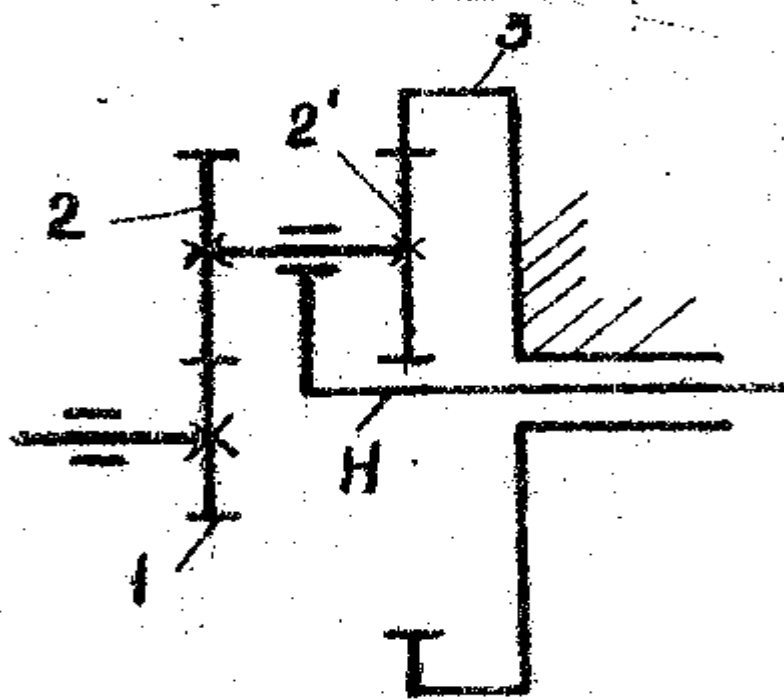


Рис. 6.11

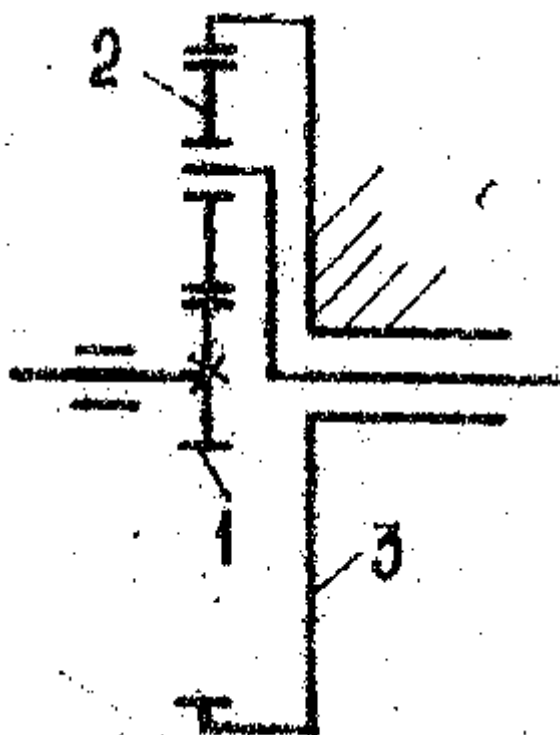


Рис. 6.12

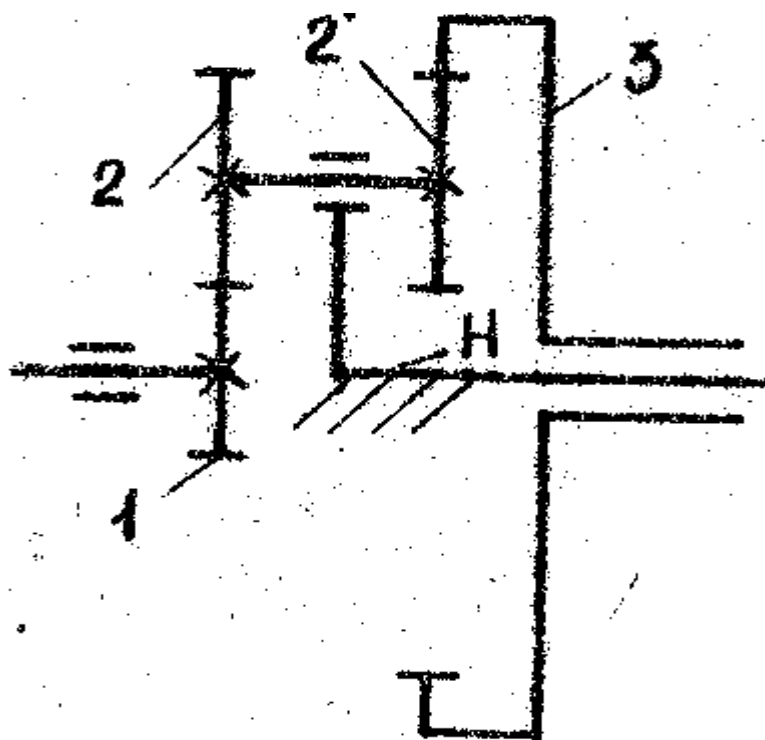


Рис. 6.13

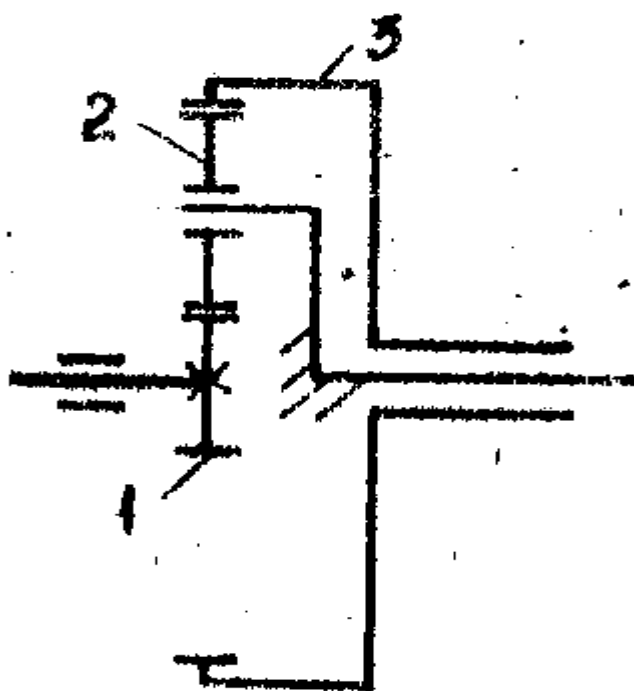


Рис. 6.14

Складний планетарний механізм

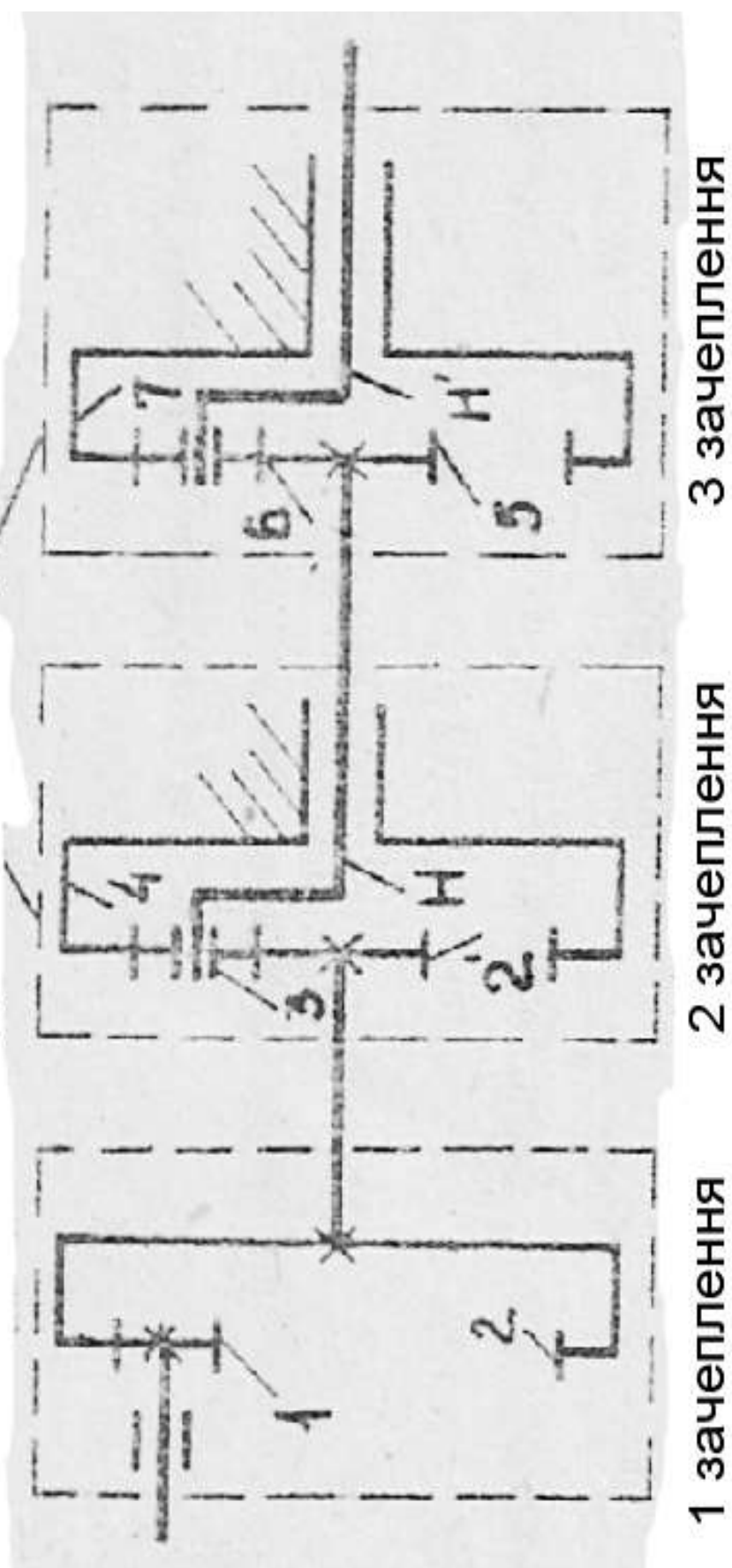


Рис 6.15



Рис.6.16

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

Дослідження кулачкових механізмів

Вступ

Кулачкові виконавчі механізми широко застосовуються в скануючих пристроях систем НК для **створення спеціальних видів руху** – коли штовхач кулачкового механізму з закріпленням на ньому первинним перетворювачем (ПП) переміщується по об'єкту контролю (ОК) за законом, що задається профілем кулачка. При конструюванні та використанні в скануючих вузлах кулачкових механізмів існують певні вимоги до точності відтворення траєкторії руху первинного перетворювача та його швидкості, оскільки невиконання цих вимог призводить до погіршення динамічних характеристик – нестабільності швидкості переміщення ПП, появи небажаних прискорень руху, збільшення моментів інерції і в кінцевому випадку – зменшенню достовірності і якості контролю ОК. Робота присвячена дослідженню характеристик розповсюджених кулачкових механізмів.

Мета та основні завдання роботи

Зробити аналіз руху різнопрофільних кулачкових механізмів, дослідивши закони переміщення вихідних ланок (штовхачів) в залежності від кута повороту чи лінійного переміщення кулачка

Теоретичні відомості

Основними ланками кулачкового механізму є профільована певним чином поверхня – кулачок 1 (див. Додаток 7 рис. 7.1) та ведена ним ланка – штовхач 2. Часто для зменшення тертя в кулачковій парі застосовують ролік, а для замикання контакту пари застосовують пружину. Існують кулачкові механізми, що перетворюють обертовий рух кулачка в поступальний рух штовхача (рис. 7.1а, рис.7.3) або обертовий – в коливальний (рис. 7.1.б та рис.

7.3) поступальний в поступальний (рис. 7.3д). Розрізняють також плоскі та просторові кулачкові механізми.

Однією із основних переваг кулачкових механізмів є можливість отримати майже будь-який закон руху штовхача шляхом надання кулачку відповідного профілю.

До недоліків слід віднести складність виготовлення робочих поверхонь кулачків та велике тертя між кулачком і штовхачем в зоні їх контакту. Тертя зменшують як правило конструктивними засобами: наприклад встановлюючи ролік на штовхач, зменшуючи тим самим тертя в зоні контакту штовхача та кулачка.

Невиконання певних вимог до точності відтворення траєкторії руху призводить до погіршення динамічних характеристик – нестабільності швидкості переміщення ПП, появи небажаних прискорень руху, збільшення моментів інерції і в кінцевому випадку – зменшенню достовірності і якості контролю ОК. З огляду на вищезгадане, при геометричних, кінематичних і динамічних дослідженнях кулачкових механізмів виникає необхідність побудови діаграм переміщень, швидкостей і прискорень точок різних ланок механізму.

Якщо закон переміщення точки будь-якої ланки механізму $S(t)=S$ відомий в аналітичній формі, то питання про визначення швидкостей і прискорень вирішується на основі відомих із вищої математики залежностей:

$$v = \frac{ds}{dt} , a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} .$$

На практиці частіше закони переміщень точок ланок в аналітичній формі невідомі. В цьому випадку викреслюється діаграма переміщень точки будь-якої ланки за час одного оберту ведучої ланки, а потім шляхом графічного диференціювання отримують діаграми швидкостей і прискорень.

Розглянемо коротко теоретичне обґрунтування методу графічного диференціювання.

Нехай на рис. 7.4 зображена функція $y=y(x)$ (крива М). Треба побудувати графік функції $y'=y'(x)$, яка являється похідною від функції $y=y(x)$. Проведемо в т. М дотичну q до заданої кривої. В результаті отримаємо для даної точки залежність $y'=y'(x)=\operatorname{tg} \alpha$, де α – кут нахилу дотичної. Відкладаємо по осі абсцис (рис. 7.5) вліво від початку координат відрізок $OP=N_1$, який називається полюсна відстань. Потім, проводячи із т. Р, яка називається полюсом, пряму pd , паралельну дотичній q , отримаємо на осі ординат $y'=y'(x)$ відрізок od . Цей відрізок представляє в масштабі першу похідну функції $y=y(x)$ в т. М. Дійсно, із ΔPOD слідує, що $od = N_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha = N_1 \cdot y'$, спроектувавши т. d на продовження ординати т. М, находимо відповідну точку m диференціальної кривої N' . Аналогічно можна отримати інші дві точки m_0 і m_1 .

Викладений вище метод дотичних на практиці викликає певні труднощі, так як точне проведення дотичних до кривих потребує від виконавця певних навиків і спеціальних креслярських інструментів. У зв'язку з цим частіше використовується **метод приблизного графічного диференціювання, який називається методом хорд**. Цей метод заснований на відомій з вищої математики теоремі про кінцевий приріст функції. Якщо функція і її перша похідна неперервні, то на інтервалі $a'b'$ (рис. 7.6) стягуюча дугу хорда, паралельна дотичній до кривої $y=y(x)$ хоча б в одній т. М, яка лежить в цьому інтервалі.

Згідно методу хорд відрізок на осі абсцис dl (рис. 7.6), відповідний функції $y=y(x)$, яка розбивається на рівну кількість відрізків $ab, bc, cd \dots$. Потім із точок a, b, c, \dots проводять прямі, перпендикулярні до осі абсцис до перетину з кривою. Точки перетину $a', b', c' \dots$ з'єднують хордами. Далі, на діаграмі $y'=y'(x)$ (рис. 7.7) зліва від початку координат відкладають відрізок $OP=N_1$ (полюсна відстань) із точки Р (полюса) проводять прямі, паралельні відповідним хордам, до перетину з віссю ординат (т. т. 1, 2, 3, 4). Потім з середини відрізків ab, bc, cd, dl (т. т. a_0, b_0, c_0, d_0) із точок 1, 2, 3, 4 проводять

прямі відповідно перпендикулярні і паралельні до осі x . Точки перетину (т. т. a'', b'', c'', d'') відповідних прямих з'єднують плавною кривою, яка в масштабі являється графічним зображенням функції $y' = y'(x)$.

Аналогічно можна отримати криву $y'' = y''(x)$.

В подальшому розглянемо побудову діаграм переміщень, швидкостей і прискорень, які застосовуються до кулачкового механізму. Завдання кулачкового механізму в більшості випадків полягає в перетворенні безперервного руху ведучої ланки (кулачка) у зворотньо - поступальний або коливальний рух веденої ланки (штовхача).

На рис. 7.8 надана схема кулачкового механізму, яка складається з кулачка 1 у вигляді плоского диску відповідної конфігурації. При обертанні кулачка довколо нерухомої вісі O штовхач 2 здійснює поступальне переміщення в направляючих 3. Пружина 4 необхідна для забезпечення постійного контакту кулачка і штовхача.

Масштаби діаграм переміщень, швидкостей і прискорень штовхача

Як правило, діаграми переміщень, швидкостей і прискорень викреслюються у відповідному масштабі. Вказані діаграми зручно будувати в функції кута повороту кулачка (φ_1) (для кулачкового механізму з кулачком, що обертається.) При цьому, отримані швидкості і прискорення штовхача називаються аналогами швидкостей і прискорень так як залежать не від часу, а від кута повороту кулачка. Між швидкостями і прискореннями, які залежать від часу і їх аналогами існують залежності $v_2 = v_2 \varphi_1 \omega_1$ (мм/с), $a_2 = a_2 \varphi_1 \omega_1$ (мм/с²), де v_2 , a_2 -- відповідно поточні значення швидкості і прискорення штовхача, які залежать від часу; ω_1 - кутова швидкість кулачка (с⁻¹), $v_2 \varphi_1$ - поточне значення аналога швидкості ($\frac{\text{мм}}{\text{рад}}$); $a_2 \varphi_1$ - поточне значення аналога прискорень.

Примітка:

Параметрам кулачка приписується індекс «1», а штовхача – «2». Масштаб кутів повороту кулачка (рис. 7.9).

При побудові діаграм по осі абсцис відкладається відрізок Φ , представляючи в масштабі кут, відповідний одному оберту кулачка (360° або 2π). При відомому Φ масштаб кутів повороту кулачка визначається за формулою: $\mu_{\varphi_1} = \frac{2\pi}{\Phi} \left(\frac{\text{рад}}{\text{мм}} \right)$.

Масштаб переміщень штовхача (рис. 7.10).

Масштаб лінійних переміщень штовхача визначається як відношення дійсного переміщення до переміщення, зображеному на діаграмі. Наприклад, нехай штовхач здійснює дійсне переміщення $S_{2\text{дійств}} = 50\text{мм}$, а на діаграмі це переміщення зображується відрізком $S_{2\text{действ}} = 100\text{мм}$. Тоді масштаб переміщень штовхача

$$\mu_{s_2} = \frac{S_{2\text{действ}}}{S_{2\text{действ}}} = \frac{50}{100} = 0,5 \left(\frac{\text{мм}}{\text{мм}} \right)$$

Масштаби аналогів швидкостей і прискорень

Вказані масштаби визначаються за формулами:

$$\mu_{v_{2\varphi_1}} = \frac{\mu_{s_2}}{\mu_{\varphi_1} H_1} - \text{масштаб аналога швидкості};$$

$$\mu_{a_{2\varphi_1}} = \frac{\mu_{s_2}}{\mu_{\varphi_1}^2 H_1 H_2} - \text{масштаб аналога прискорення};$$

де H_1 , H_2 - відповідно полюсні відстані діаграм аналога швидкостей і прискорень.

Опис експериментальних макетів

I. Кінематичний аналіз кулачкового механізму №1

Макет цього кулачкового механізму відповідає описаній в теоретичній частині схемі (рис.7.1a та рис.7.9) і призначений для перетворення обертового руху кулачка в функціональний поступальний рух штовхача з закріпленням на ньому індикатором його лінійних переміщень. Саме такі переміщення здійснюватиме первинний перетворювач (ПП) при його закріпленні на вузлі штовхача.

Отже:

1. В роботі досліджується центральний кулачковий механізм (лінія переміщення штовхача проходить через центр обертання кулачка) із симетричним кулачком.
2. Мінімальний радіус кулачка – радіус r_0 кола (рис.7.9), проведений із центру обертання кулачка і дотичної внутрішньої частини його профілю в одній або декількох точках. Вказане коло називається початковим.
3. Початкова окружність приймається за початок відліку при визначенні переміщень штовхача.

В результаті аналізу кулачкового механізму №1 визначається мінімальний радіус кулачка r_0 і будуються діаграми переміщень, аналогів швидкостей і прискорень.

2. Кінематичний аналіз кулачкового механізму №2

В пристроях сканування первинний перетворювач (ПП) може розміщуватись на вузлі штовхача і переміщуватись разом з ним за законом руху, що закладається розробником при профілюванні кулачка.

Кулачковий механізм № 2 утворюється з кулачка (певної криволінійної поверхні), що поступально переміщується з відповідною швидкістю V_x (по осі X) та штовхача, що переміщується поступально зі швидкістю V_y (по осі Y).

Заходи безпеки під час виконання лабораторної роботи

В зв'язку з наявністю рухомих частин макету слід уважно стежити за макетом під час моментів руху, не відволікатись від виконання дії. Рекомендовано одній особі з бригади проводити експеримент, іншій - вести робочі записи.

Порядок виконання лабораторної роботи

1. Дослідження кулачкового механізму № 1.

1.1 Викреслити схему лабораторної установки № 1.

1.2. Визначити мінімальний радіус (r_0) кулачка.

1.3. Визначити ділянки профілю кулачка і відповідні для них кути (рис.7.9): підйому штовхача [з закріпленням на ньому ПП] (φ_n), верхнього вистою ($\varphi_{в.в}$), опускання штовхача (φ_0) і нижнього вистою ($\varphi_{н.в}$), шляхом послідовного повороту кулачка. (наглядаючи за індикатором переміщень).

1.4. Побудувати діаграму $S_2 - \varphi_1$ (рис. 7.10). По осі абсцис відкласти відрізок прямої Φ , який зображує в масштабі кут 2π (один оберт кулачка). Відрізок Φ поділити на 4 ділянки, відповідним кутам φ_n ; $\varphi_{в.в}$; φ_0 ; $\varphi_{н.в}$. Потім ділянки φ_n і φ_0 поділити, в свою чергу, на окремі частини (рекомендовано ділити на 6 ... 8 частин).

Встановити штовхач в початкове (нижнє) положення і, повертаючи кожен раз кулачок на крок, визначити за допомогою індикатора переміщень відповідні переміщення штовхача S_2 . Отримані виміри занести в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

№№ ПП	Поточне значення кута повороту кулачка (φ_1 , рад)	Поточні значення переміщення штовхача (S_2 , мм)	Мінімальний радіус кулачка (r_0 , мм)
1.	0		25
2.	$\pi/20$		
3.	$\pi/10$		
4.	$3\pi/20$		
5.	$\pi/5$		
6.	$\pi/4$		
7.	$3\pi/10$		
8.	$7\pi/20$		
9.	$9\pi/20$		
10.	$\pi/2$		

Примітка:

Оскільки в лабораторній роботі досліджується симетричний кулачок, то достатньо зняти дані для підйому товкача. Частина діаграми, відповідно опусканню товкача, являється дзеркальним відображенням ділянки підйому (рис. 7.9).

1.5 Визначити масштаби μ_{s_2} і μ_{φ_1} для діаграми $S_2 - \varphi_1$.

1.6 Продиференціювати діаграму $S_2 - \varphi_1$ і отримати діаграму $v_{2\varphi_1} - \varphi_1$ (рис.7.10).

1.7 Визначити масштаб μ_{v_2} діаграми $v_{2\varphi_1} - \varphi_1$ по осі ординат.

1.8 Продиференціювати діаграму $v_{2\varphi_1} - \varphi_1$ і отримати діаграму $a_{2\varphi_1} - \varphi_1$ (рис.7.10).

1.9 Визначити масштаб μ_{a_2} діаграми $a_{2\varphi_1} - \varphi_1$ по осі ординат.

1.10 Проаналізувати отримані результати

2. Дослідження кулачкового механізму № 2.

2.1. Викреслити схему макета кулачкового механізму № 2. (відповідний макет видає Викладач)

2.2 Провести аналіз переміщень штовхача при «роботі» з ним різних профільних поверхнях: покроково переміщуючи кулачкову поверхню в напрямних, відслідковувати за допомогою індикатора переміщень відповідні переміщення штовхача. Побудувати на єдиній координатній сітці графіки залежності переміщення ПП від величин переміщень різних кулачків.

Результати виміру занести в таблицю 7. 2.

Табл. 7.2

№ кулачкової поверхні	№п \п	Крок переміщення кулачка	Покрокове переміщення штовхача з ПП	Межі переміщень кулачка
№ 2.1	1			
	2			
	3			
			
№ 2.2	1			
			

2.3. Проаналізувати отримані результати

Оформлення Звіту

Звіт роботи оформлюється на форматі А4 і повинен містити:

1. Мету та теоретичні відомості
2. Схему установки №1.
3. Таблицю вимірів №1.

4. Діаграми $S_2 - \varphi_1$, $\nu_{2\varphi_1} - \varphi_1$, $a_{2\varphi_1} - \varphi_1$ (по аналогії з рис. 7.10).
5. Масштаби діаграм.
6. Діаграму $S_1 - S_2$.
- 7.Схему установки №2.
- 8.Таблицю вимірів №2.
9. Графіки переміщень для кулачкового механізму №2
- 10.Висновки по роботі

Контрольні запитання

1. Мета застосування кулачкових механізмів в пристроях сканування.
2. Види кулачкових механізмів.
3. Особливості конструкції кулачкових механізмів
4. Переваги і недоліки кулачкових механізмів
5. Суть метода хорд
6. Порядок побудови діаграм переміщень, аналогів швидкостей та прискорень.
7. Необхідність аналізу переміщень кулачкового механізму

Рекомендована література

1. Заблонский К.И. «Детали машин» - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1985,- 518с.
2. Куркин В.И., Козинцов Б.П. «Детали механизмов радиоустройств.М., «Высш. школа», 1975, - 245с.
3. Первицкий Ю.Д. «Расчет и конструирование точных механизмов» - М. «Машиностроение», 1975
4. Ермолов И.Н. Останин Ю.Я. «Методы и средства неразрушающего контроля качества» , М.: Высш. Шк., 1988.-368с.

ДОДАТОК 7

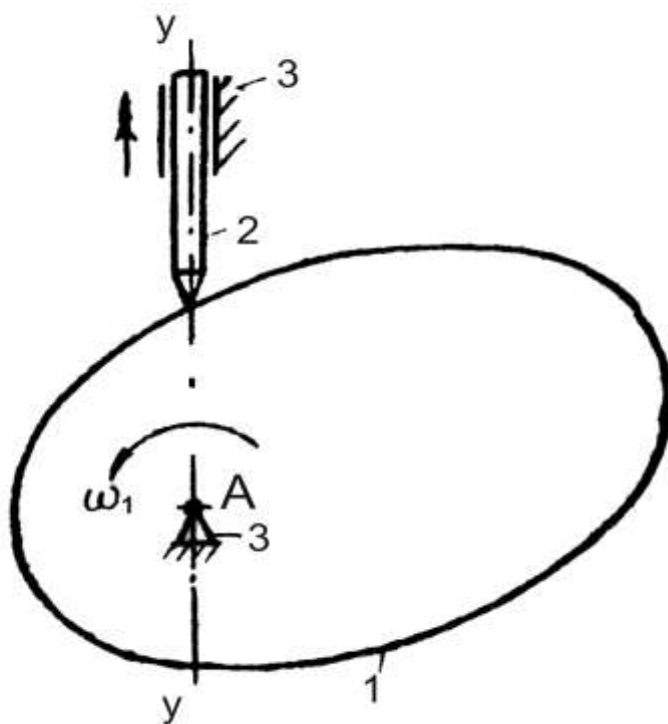


Рис. 7а

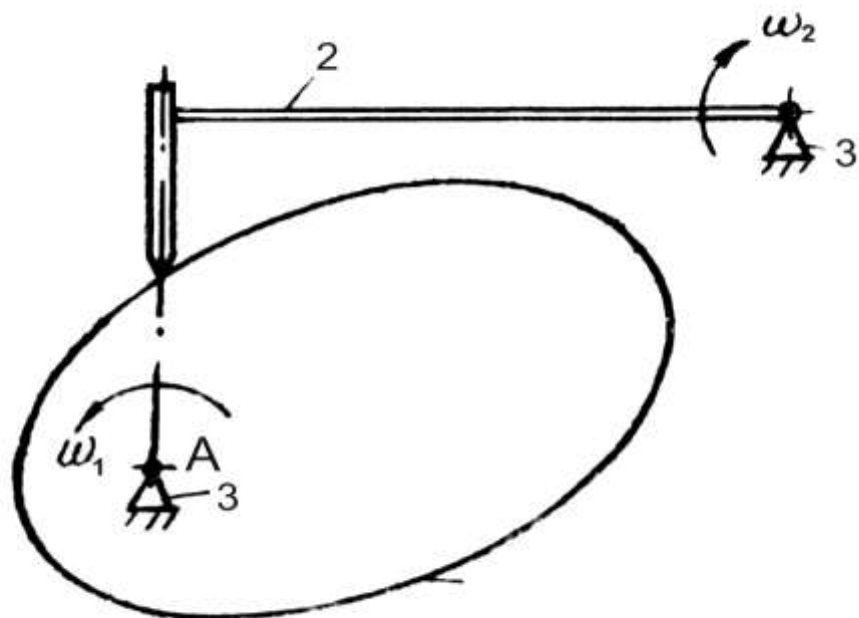


Рис.7б

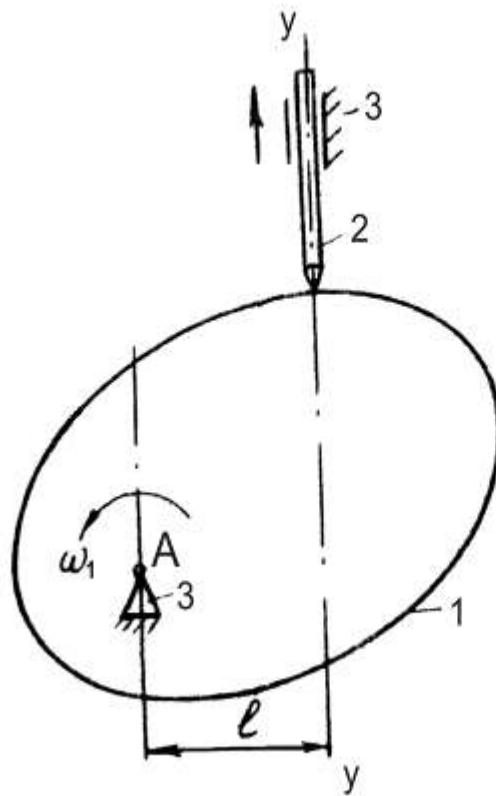


Рис. 7.2а ексцентриковий кулачковий механізм з поступальним рухом штовхача

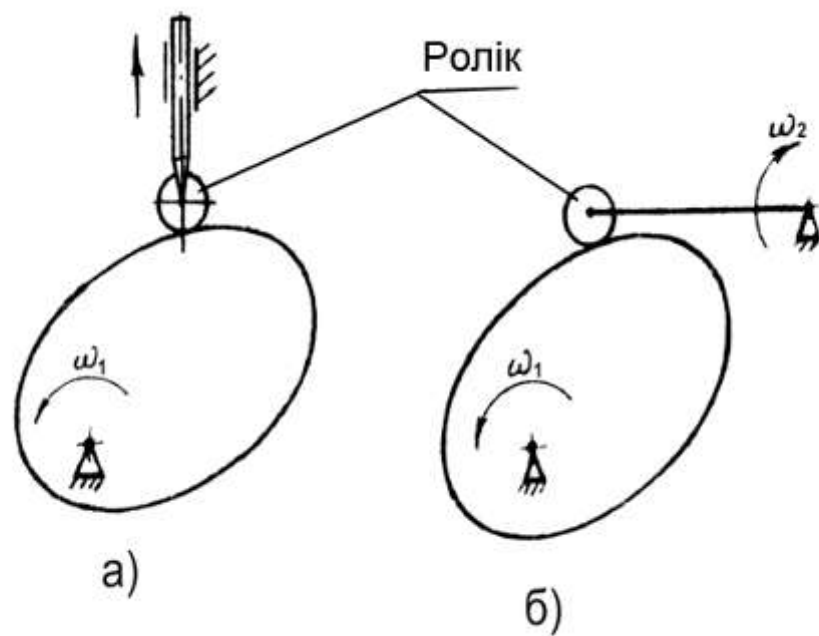


Рис. 7.2б кулачкові механізми з допоміжним роліком

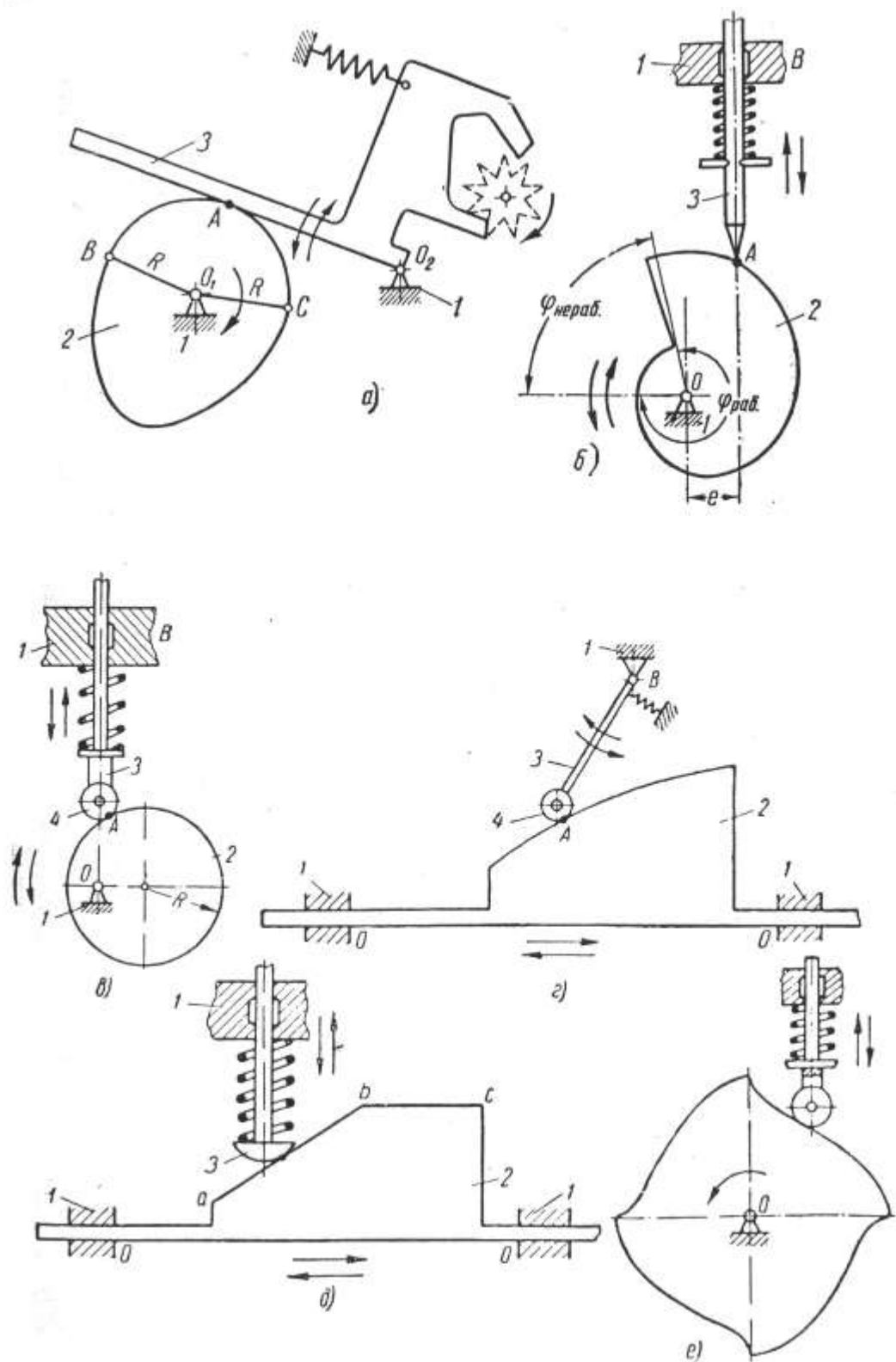


Рис. 7.3 Кінематичні схеми різних кулачкових механізмів

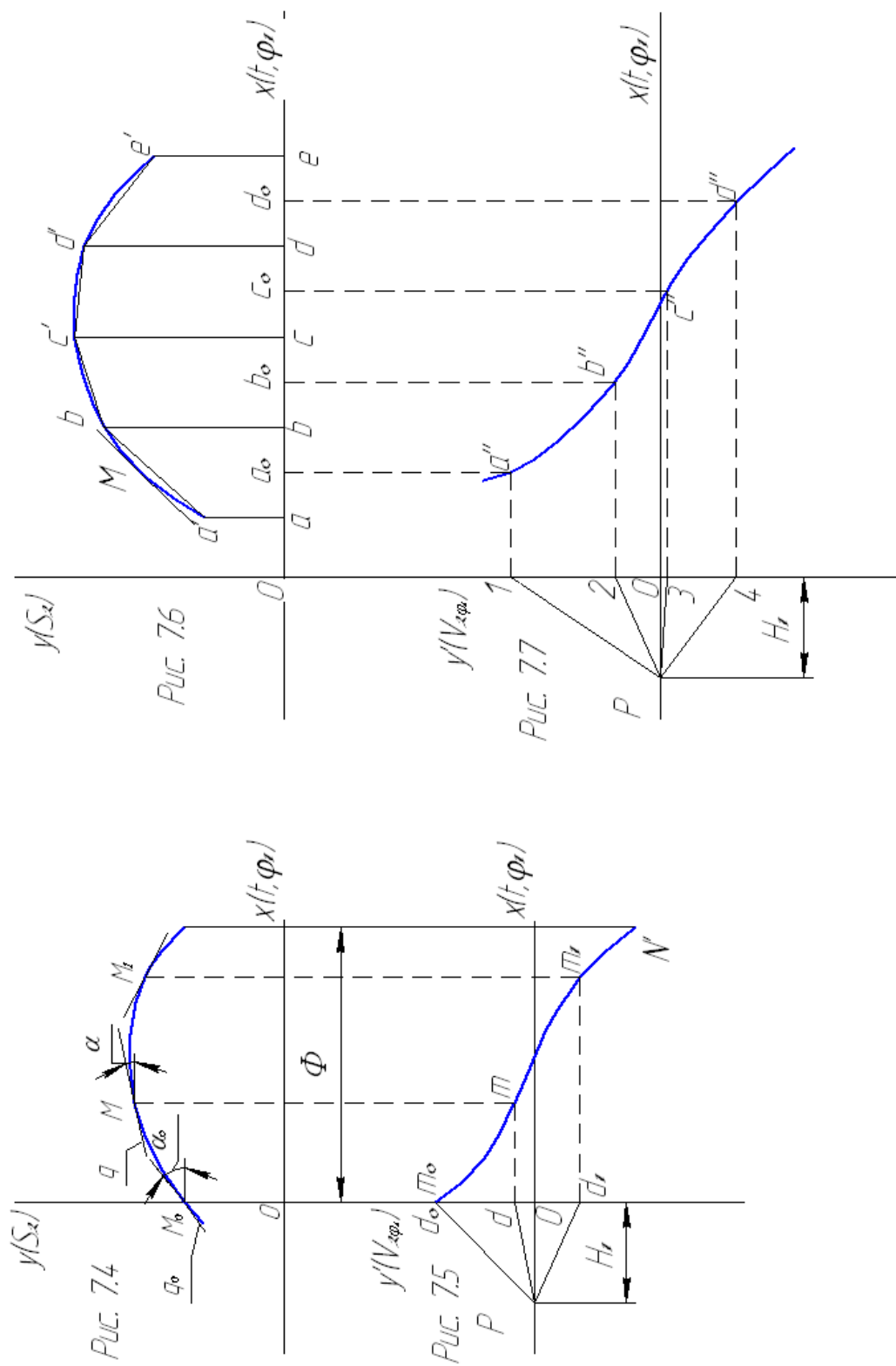


Рис.7.4 – 7.7 Побудова діаграм переміщень, швидкостей та прискорень кулачкового механізму з застосуванням метода хорд

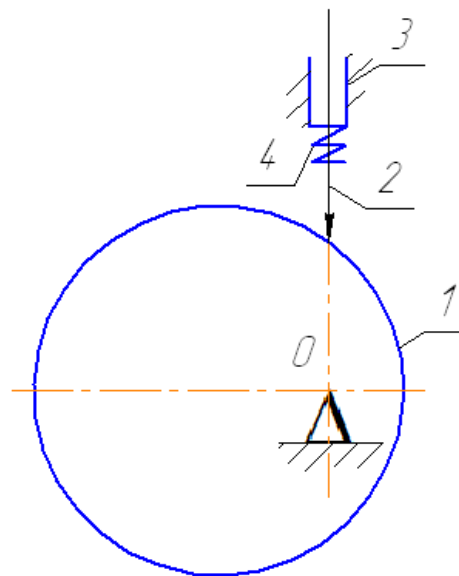


Рис. 7.8

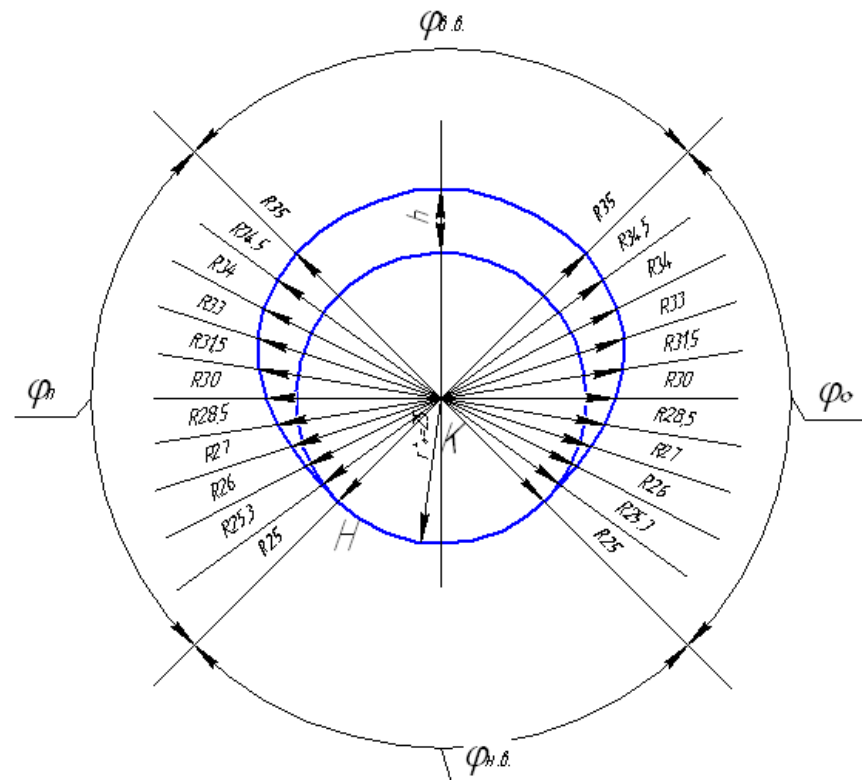


Рис. 7.9

Профиль кулачка
 $\varphi_n = \varphi_o = \varphi_{n.б} = \varphi_{o.б} = 90^\circ$
 $h = 10\text{ мм}, r_{o.б}^* = 25\text{ мм}$

Рис. 7.8 эксцентриковый механизм;

Рис. 7.9 Профілювання кулачка

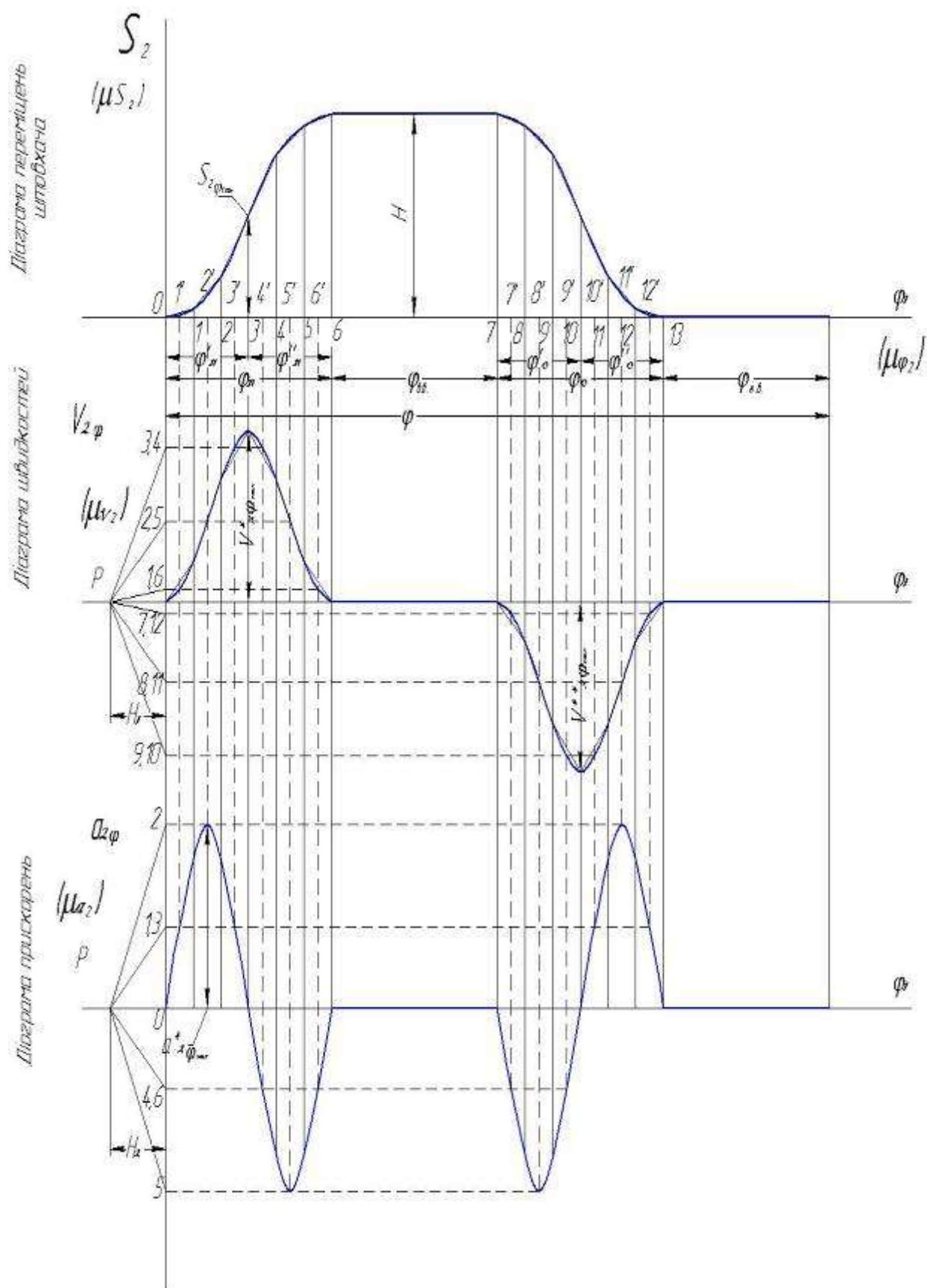


Рис. 7.10 Побудова діаграм роботи кулачкового механізму